

فزیک • مکانیک • دینامیک

# راهنمایی آموزشی فزیک

## صنف یازدهم

قوانین حرکت، نیرو، انرژی و تعادل اجسام

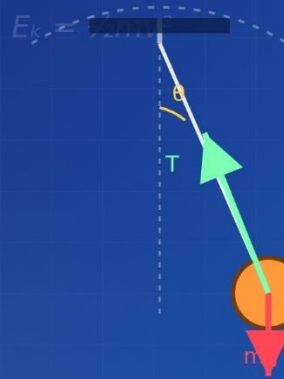
$$v = v_0 + a \cdot t$$

$$p = m \cdot v$$

$$\tau = F \cdot r$$

$$W = F \cdot d$$

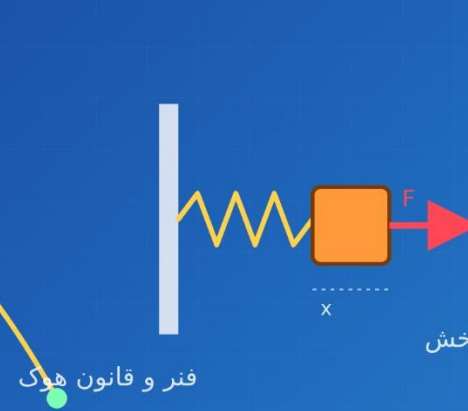
$$E_p = mgh$$



پاندول ساده



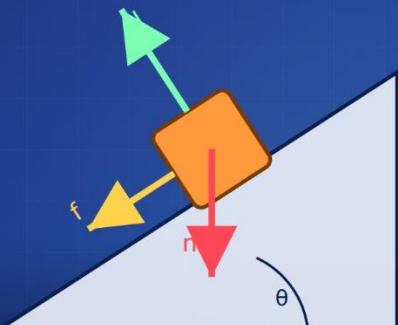
حرکت جسم پرتاب شده



فنر و قانون هوک



گشتاور و چرخش



"این چیتر شامل ۱۴ دوره درسی برای ارتقای سطح علمی متعلمان صنف یازدهم می باشد"

## فیزیک صنف یازدهم:

### دوره اول:

- توضیح مفاهیم به زبان ساده
- تمرینات خانگی
- فعالیت‌های عملی
- روش‌های خلاقانه‌ی یادگیری
- خلاصه‌ی مفاهیم

موضوع هفته: معرفی قوه (نیرو) و جمع قوه‌ها

فیزیک صنف یازدهم – هفته اول

عنوان درس: قوه و جمع قوه‌ها

#### 1 مفاهیم اصلی به زبان ساده

##### قوه (نیرو) چیست؟

قوه یا نیرو کشش یا فشار بالای یک جسم است که می‌تواند آن را حرکت دهد، متوقف کند یا جهت حرکتش را تغییر بدهد.  
به زبان ساده: اگر چیزی را تپله کنید یا بکشید، شما بر آن قوه وارد می‌کنید.

##### مثال‌ها:

- کش کردن یک چوکات دروازه
- فشار دادن یک تیرالی (چرخ‌دستی)
- کش کردن ریسمان در بازی ریسمان کشی

##### واحد قوه چیست؟

- واحد بین‌المللی قوه، نیوتن (N) است.

- 1 نیوتن = مقدار قوه‌ای که یک جسم 1 کیلوگرام را با شتاب  $1 \text{ m/s}^2$  حرکت دهد.  
ابزار اندازه‌گیری قوه چیست؟

- دینامومتر (spring scale) یا ترازوی فنری
- این آله مقدار قوه را به نیوتن نشان می‌دهد.

##### انواع قوه:

- قوه تماسی (مثل فشار دست بر جسم)
- قوه غیر تماسی (مانند قوه جاذبه، قوه برقی یا قوه مقناطیسی)

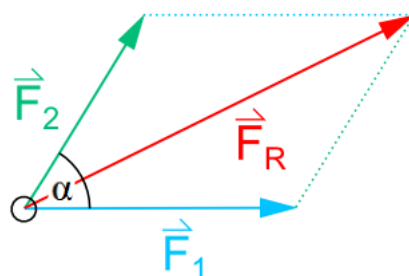
##### اثرات قوه چیست؟

قوه می‌تواند:

- جسمی را به حرکت درآورد یا متوقف کند
- جهت حرکت جسم را تغییر دهد
- شکل جسم را تغییر دهد (مثلاً فشار بر توپ)

#### 2 جمع قوه‌ها (ترکیب نیروها)

اگر چند قوه بر یک جسم وارد شوند، ما می‌توانیم آن‌ها را به دو طریقه جمع کنیم. یکی هندسی و دیگری الجبری



$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$$

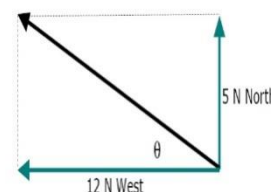
## حالات خاص:

1. قوه‌ها در یک خط و یک جهت یعنی زاویه بین شان صفر باشد.

$$F_2 = 3\text{ N به راست، } F_1 = 5\text{ N به راست}$$

$$5\text{ N} + 3\text{ N} = 8\text{ N به طرف راست}$$

2- قوه‌های عمود برهم یعنی زاویه بین شان 90 باشد.



$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

2. قوه‌ها در یک خط ولی جهت مخالف یعنی زاویه بین شان 180 درجه باشد.

$$\text{به چپ } F_2 = 6\text{ N به راست، } F_1 = 10\text{ N}$$

$$10\text{ N} - 6\text{ N} = 4\text{ N به طرف راست}$$

اگر هر دو برابر بودند، قوه خالص صفر می‌بود و جسم.

## مثال واقعی:

- دو نفر یک بکس را می‌کشند. اگر هر دو در یک جهت بکشند، قوه‌ها جمع می‌شوند.
- اگر یکی بکشد و یکی تيله دهد، باید قوه‌ها را با علامت جهت‌شان جمع کرد.

## 3 تمرینات خانگی

### تمرین 1 - تعریف‌ها:

- قوه چیست؟
- واحد قوه را بنویسید.

- چه نوع قوه‌هایی در زندگی روزمره می‌شناسید؟ سه مثال بزنید.

### تمرین 2 - جمع قوه‌ها:

الف) دو قوه 7N و 5N در یک جهت بر جسمی وارد می‌شوند. قوه کل چند است؟  
ب) دو قوه 12N و 8N در خلاف جهت وارد می‌شوند. قوه خالص چند است و در کدام جهت؟

### تمرین 3 - جدول تطبیق:

| پاسخ | مورد                        |
|------|-----------------------------|
| ؟    | واحد قوه                    |
| ؟    | آله ی اندازه گیری قوه       |
| ؟    | قوه که تماس مستقیم دارد     |
| ؟    | قوه که در دو جهت مخالف باشد |

پاسخ سوالات جدول: نیوتن، دینامومتر، قوه تماسی، قوه مجموعی صفر

### تمرین 4 - رسم:

- یک جسم رسم کنید که دو قوه بر آن وارد شده‌اند مثلاً یکی به چپ 6N، یک به راست 4N
- قوه خالص را حساب کرده و با تیر نشان دهید.

## 4 فعالیت‌های عملی و خلاقانه

### فعالیت 1 - آزمایش خانگی قوه:

- یک کش (الاستیک) و یک بوتل آب استفاده کنید.
- کش را بکشید، متوجه شوید که با افزایش قوه، کش بیشتر دراز می‌شود.
- حالا بوتل پر و خالی را آویزان کنید، کش چه تغییری می‌کند؟

### فعالیت 2 - بازی ریسمان کشی:

- دو گروه کوچک تشکیل دهید.
- اگر قوه مساوی بود، ریسمان حرکت نمی‌کند (قوه خالص صفر است).

|                                                  |              |
|--------------------------------------------------|--------------|
| قوه‌ها در یک جهت جمع، در جهت مخالف تفریق می‌شوند | جمع قوه‌ها   |
| جسم متوازن است                                   | قوه خالص صفر |

🔴 پرسش نهایی: اگر سه قوه 5N، 3N و 2N هم‌جهت باشند، قوه خالص چند است؟ اگر یکی از آن‌ها در جهت مخالف باشد، چه تغییری می‌آید؟

## دوره دوم

### 📋 اهداف آموزشی:

1. دریافت محصله قوه‌های متلاق به صورت الجبری
2. قوه‌هایی که بر نقاط مختلف یک جسم تاثیر می‌کنند
3. تعادل کتله نقطه‌ای
4. قوه متقابل
5. پایداری
6. تعادل و حالات آن
7. مومنت (تورک) قوه
8. تجزیه یک قوه.

### 🌀 ۱: دریافت محصله قوه‌های متلاق به صورت الجبری

✅ برای به دست آوردن محصله قوت‌های متلاق به صورت جبری، مولفه‌های افقی و عمودی هر نیرو را جداگانه محاسبه کرده و آن‌ها را با هم جمع می‌کنیم. سپس با استفاده از قضیه فیثاغورس، اندازه برآیند و با استفاده از تابع تانژانت معکوس (آرک‌تانژانت)، جهت برآیند را به دست می‌آوریم.

#### مراحل دریافت محصله قوت‌ها به صورت جبری:

1. تجزیه نیروها به مولفه‌ها: هر نیرو را به دو مولفه افقی  $x$  و عمودی  $y$  تجزیه کنید. اگر زاویه نیرو با محور افقی مشخص باشد، از روابط زیر استفاده کنید: مولفه افقی:

$$F_x = F \cdot \cos \theta$$

- اگر یک طرف قوی‌تر بود، ریسمان به سمت آن طرف حرکت می‌کند (قوه خالص  $\neq$  صفر)

### 🎮 فعالیت 3 – تیاتر فیزیکی:

- شاگردان نقش "قوه به چپ"، "قوه به راست"، و "جسم" را بازی کنند.
- با تیر یا وکتور و حرکات، مفهوم جمع قوه‌ها را نشان دهند.

### 📱 فعالیت 4 – استفاده از اپلیکیشن (در صورت دسترسی):

- اپلیکیشن‌هایی مانند PhET (Force and Motion) به صورت رایگان قابل استفاده است.
- در آن می‌توانید قوه‌ها را بر اجسام وارد کرده و نتیجه را ببینید.

### 📖 5 ژورنال علمی:

کتابچه "قوه‌ها در زندگی" تهیه کنید و هر روز یادداشت کنید که در کجا و چگونه قوه بر اشیاء وارد می‌شود. مثال‌ها:

- باز کردن دروازه  $\rightarrow$  تيله
- کش کردن  $\rightarrow$  کشش
- پرتاب کردن توپ  $\rightarrow$  قوه شتابی

### 📌 6 خلاصه‌ی مفاهیم:

| توضیح ساده               | مفهوم             |
|--------------------------|-------------------|
| فشار یا کشش بر جسم       | قوه               |
| نیوتن (N)                | واحد قوه          |
| دینامومتر یا ترازوی فتری | ابزار اندازه‌گیری |
| تماس مستقیم دارد         | قوه تماسی         |
| مانند جاذبه، مغناطیس     | قوه غیر تماسی     |

$$F_y = F \cdot \cos \theta$$

که در این فرمول ها  $F$  قوه و  $\theta$  زاویه آن با محور افقی می باشد.

### 3. محاسبه اندازه برآیند :

- با استفاده از قضیه فیثاغورس، اندازه محصله را محاسبه کنید

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

مثال:

فرض کنید دو نیرو داریم:

- نیروی اول:  $F_1 = 10$  نیوتن در زاویه  $30^\circ$  با محور افقی.
- نیروی دوم:  $F_2 = 5$  نیوتن در زاویه  $120^\circ$  با محور افقی.
- مؤلفه‌ها:

$$F_{1x} = 10 \cos 30^\circ = 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3} \quad \circ$$

$$F_{1y} = 10 \sin 30^\circ = 10 \times \frac{1}{2} = 5 \quad \circ$$

$$F_{2x} = 5 \cos 120^\circ = 5 \times \left(-\frac{1}{2}\right) = -2.5 \quad \circ$$

$$F_{2y} = 5 \sin 120^\circ = 5 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{5\sqrt{3}}{2} \quad \circ$$

- جمع مؤلفه‌ها:

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} = 5\sqrt{3} - 2.5 \quad \circ$$

$$R_y = F_{1y} + F_{2y} = 5 + \frac{5\sqrt{3}}{2} \quad \circ$$

### 2- قوه‌هایی که بر نقاط مختلف یک جسم تاثیر می‌کند

بر روی نقاط مختلف یک جسم، «نیروهای مختلفی» مانند نیروی وزن، نیروی نرمال، نیروی اصطکاک، نیروی کشش و نیروی مقاومت هوا اعمال می‌شوند که هر کدام با توجه به نقطه اثر خود بر حرکت، تغییر شکل یا توقف جسم تاثیر می‌گذارند در حالت کلی، مجموع تمام این نیروها (نیروی حاصله) تعیین کننده حرکت یا تغییر حالت جسم است.

انواع نیروهای تاثیرگذار بر نقاط مختلف جسم

### • نیروی وزن: (Weight Force)

نیروی جاذبه‌ای که زمین بر تمام نقاط جسم وارد می‌کند و باعث کشش آن به سمت مرکز زمین می‌شود

### • نیروی نرمال: (Normal Force)

نیرویی که از سوی سطح تماس بر جسم وارد می‌شود و به صورت عمود بر سطح عمل می‌کند. این نیرو از فرو رفتن جسم در سطح جلوگیری می‌کند

### • نیروی اصطکاک: (Friction Force)

نیرویی است که در خلاف جهت حرکت یا تمایل به حرکت در سطح در تماس با یکدیگر وارد می‌شود

### • نیروی کشش: (Tension Force)

نیرویی که در طناب‌ها، فنرها یا تسمه‌ها هنگام کشیده شدن اعمال می‌شود و در نقاط مختلف طناب یا فنر به جسم وارد می‌آید

### • نیروی مقاومت هوا: (Air Resistance)

نیرویی است که در برابر حرکت جسم در هوا عمل می‌کند و با افزایش سرعت جسم افزایش می‌یابد  
تاثیر نیروها بر جسم

### • تغییر حالت حرکت: (Changes in motion)

نیروها می‌توانند باعث شروع حرکت، توقف، شتاب گرفتن یا کاهش سرعت جسم شوند.

### • تغییر شکل: (Deformation)

نیروهای وارده می‌توانند باعث تغییر اندازه یا شکل جسم شوند، مانند فشردن یک فنر یا تغییر شکل یک توپ نرم.

### • نیروی حاصله: (Resultant Force)

اگر چندین نیرو بر جسم وارد شوند، تأثیر کلی آن‌ها به صورت یک نیروی واحد به نام نیروی حاصله بیان می‌شود.

○ اگر نیروی حاصله صفر باشد، نیروهای وارد بر جسم متعادل هستند و جسم ثابت می‌ماند یا با سرعت ثابت در خط مستقیم حرکت می‌کند.

○ اگر نیروی حاصله صفر نباشد، جسم یا شتاب می‌گیرد و یا با کاهش سرعت مواجه می‌شود

در نهایت، «تعادل کتله نقطه‌ای» یک اصطلاح متفاوت است که ممکن است در زمینه‌های دیگر مانند فیزیک یا مهندسی به معنی «تعادل نقطه ثقل یک جسم» باشد، جایی که یک جسم در تعادل است اگر نقطه ثقل آن توسط تکیه‌گاه نگه‌داشته شود. اما بر اساس نتایج جستجو، به نظر می‌رسد منظور اصلی شما همان مفهوم «نظریه تعادل نقطه‌ای» در زیست‌شناسی تکاملی است.

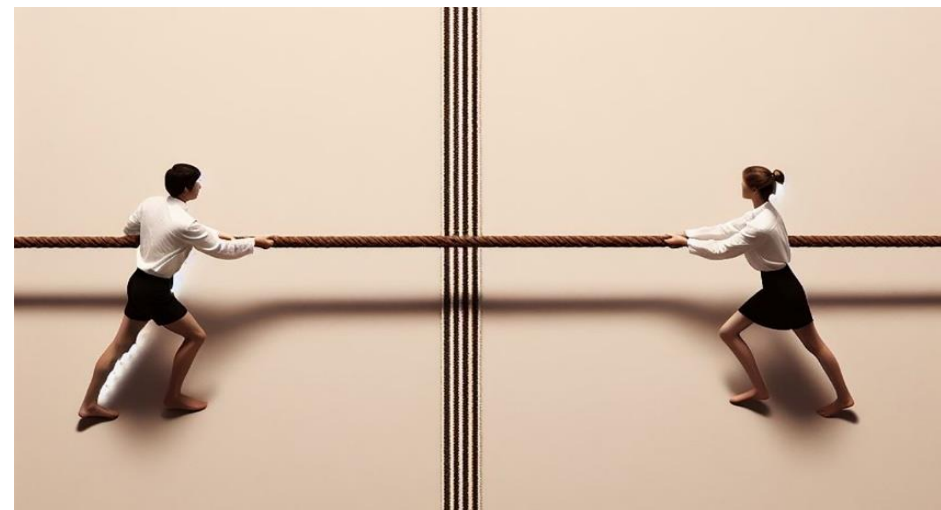


#### 4: قوه متقابل

نیروی متقابل به این اصل اشاره دارد که هر نیرویی که توسط یک جسم بر جسم دیگر وارد می‌شود، نیروی معادل و در خلاف جهت توسط جسم دوم بر جسم اول وارد می‌کند. به عبارت دیگر، برای هر کنش (نیروی وارد شده)، عکس‌العمل (نیروی متقابل) وجود دارد که با همان شدت و در جهت مخالف عمل می‌کند. این مفهوم یکی از اصول بنیادین فیزیک و به طور خاص، قانون سوم نیوتن است.

#### توضیحات بیشتر :

- **اصل کنش و واکنش:**  
قانون سوم نیوتن بیان می‌کند که "برای هر عمل، عکس‌العمل مناسب و مساوی وجود دارد." این بدان معنی است که نیروها همیشه به صورت دوتایی وجود دارند.
- **مثال گرانش:**  
وقتی زمین سیب را به سمت خود می‌کشد، سیب نیز با نیروی برابر و در خلاف جهت، زمین را می‌کشد. تفاوت در اثر این دو نیرو به خاطر تفاوت زیاد جرم دو جسم است.
- **عدم تماس:**  
این اصل حتی برای نیروهای غیر تماسی مانند گرانش نیز صادق است.



#### 3: تعادل کتله نقطه‌ای

تعادل کتله نقطه‌ای (یا «نقطه‌ای») در زیست‌شناسی تکاملی نظریه‌ای است که می‌گوید بیشتر گونه‌ها در طول تاریخ خود تغییرات تکاملی کمی نشان می‌دهند و تغییرات عمده تکاملی معمولاً در زمان شاخه‌شاخه شدن یک گونه به دو گونه‌ی مجزا رخ می‌دهد. این نظریه که توسط استیون جی گولد و نیلز الدرج در سال ۱۹۷۲ ارائه شد، بیان می‌کند که صفات ریختی موجودات زنده برای مدت طولانی پایدار می‌مانند و تغییرات ناگهانی در دوره‌های کوتاه رخ می‌دهد، که این موضوع عدم وجود فسیل‌های حد واسط را توجیه می‌کند.

مفاهیم کلیدی تعادل نقطه‌ای :

پایداری نسبی:

گونه‌ها برای مدت طولانی بدون تغییرات قابل توجه باقی می‌مانند.

جهش ناگهانی:

تغییرات تکاملی چشمگیر در دوره‌های کوتاه و در طول فرایند speciation تبدیل یک گونه به دو گونه رخ می‌دهد.

توجیه فسیل‌ها:

این نظریه عدم وجود فسیل‌های حد واسط را به این دلیل توضیح می‌دهد که تغییرات به سرعت رخ می‌دهند و فرصت کمتری برای یافتن فسیل‌های انتقالی وجود دارد.

نظریه در برابر تکامل تدریجی داروین :

نظریه تعادل نقطه‌ای نقطه مقابل نظریه تکامل تدریجی داروین است که بر تغییرات آهسته و پیوسته در طول زمان تأکید دارد.

## • تأثیر بر اجسام:

نیروهای متقابل همیشه بر دو جسم متفاوت وارد می‌شوند و اثرات آنها بر اجسام با توجه به جرمشان متفاوت خواهد بود



## 5: - پایداري

پایداری در اجسام به تمایل یک جسم برای بازگشت به حالت اولیه پس از جابجایی از تعادل اشاره دارد. سه نوع اصلی پایداری وجود دارد: تعادل پایدار، که در آن جسم به موقعیت اولیه بازمی‌گردد؛ تعادل ناپایدار، که در آن جسم از موقعیت اولیه دورتر می‌شود؛ و تعادل خنثی، که در آن جسم در موقعیت جدید باقی می‌ماند. عوامل مهم در پایداری جسم، موقعیت مرکز جرم و نحوه تماس آن با سطحی است که بر روی آن قرار دارد.

## تعریف پایداری

- پایداری معیاری است برای سنجش دشواری به حرکت درآوردن یک جسم که در حالت تعادل قرار دارد.
  - وقتی جسمی از وضعیت تعادل خارج می‌شود، اگر نیروی بازگرداننده‌ای وجود داشته باشد که آن را به موقعیت اولیه برمی‌گرداند، جسم در وضعیت تعادل پایدار است.
- انواع پایداری

## • تعادل پایدار: (Stable Equilibrium)

جسم در این حالت، در صورت جابجایی، نیروی بازگرداننده‌ای دریافت می‌کند که آن را به موقعیت اولیه خود بازمی‌گرداند، همانند یک توپ در ته یک گودی. در این حالت، انرژی پتانسیل جسم حداقل است.

## • تعادل ناپایدار: (Unstable Equilibrium)

جسم در این حالت، در صورت جابجایی، از موقعیت اولیه دورتر می‌شود. یک مثال از این حالت، قرارگیری یک مداد روی نوک آن است.

## • تعادل خنثی: (Neutral Equilibrium)

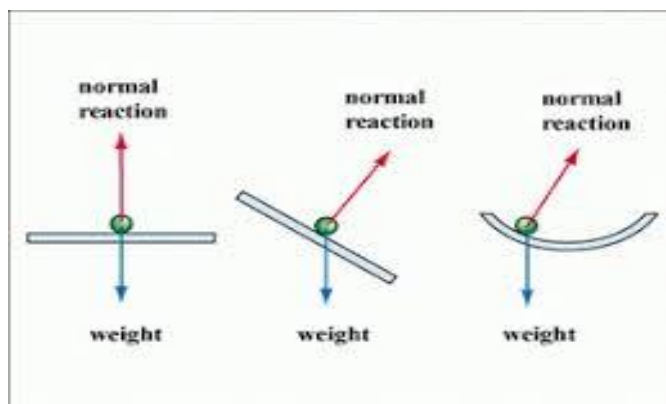
در این نوع تعادل، اگر جسم را جابجا کنیم، نه به موقعیت اولیه بازمی‌گردد و نه از آن دورتر می‌شود، بلکه در موقعیت جدید خود باقی می‌ماند. یک توپ روی یک سطح صاف، در این دسته قرار می‌گیرد. عوامل مؤثر بر پایداری

## • مرکز جرم: (Center of Mass)

موقعیت مرکز جرم یک جسم نقش مهمی در پایداری آن دارد. برای مثال، در اجسام غوطه‌ور، مرکز جرم و نیروی وزن نقش کلیدی در تعادل دارند.

## • نیروی تماس با سطح:

پایداری یک جسم به نیروی تماس آن با سطح نیز بستگی دارد. اگر نیروی وزن در امتداد نیروی تماس قائم نباشد، جسم ناپایدار می‌شود. به طور خلاصه، پایداری در اجسام به توانایی آنها در بازگشت به حالت تعادل اولیه اشاره دارد و توسط موقعیت مرکز جرم و نحوه قرارگیری جسم بر روی سطح تعیین می‌شود



## 6: تعادل و حالات آن

تعادل حالتی است که در آن یک سیستم از نظر فیزیکی یا شیمیایی در وضعیت پایدار قرار می‌گیرد و خواص میکروسکوپی آن ثابت می‌ماند، حتی اگر در سطح میکروسکوپی فعالیت و تغییرات ادامه داشته باشد. تعادل دو حالت اصلی دارد: تعادل مکانیکی که در آن نیروهای وارد بر یک جسم

متعادل هستند و جسم در حالت سکون است، و تعادل شیمیایی که در آن سرعت واکنش رفت و برگشت برابر شده و غلظت واکنش دهنده‌ها و فرآورده‌ها ثابت می‌ماند.

انواع اصلی تعادل

### 1. تعادل مکانیکی:

تعریف: وضعیتی که در آن نیروهای خارجی وارد بر یک جسم متعادل شده و جمع نیروی خالص صفر است.

#### حالات:

تعادل ایستا (Static Equilibrium): جسم در حالت سکون قرار دارد، یعنی نه جابه‌جا می‌شود و نه می‌چرخد. مثال: یک کتاب روی میز یا وزنه‌ای که با فنر نگه داشته شده است.

تعادل پویا (Dynamic Equilibrium): در مفهوم مکانیکی، جسم در حال حرکت با سرعت ثابت است و هیچ نیروی خالص مؤثری بر آن وارد نمی‌شود. مثال: کودکی که با سرعت ثابت از روی سرسره می‌لغزد.

عوامل مؤثر: نقطه ثقل (مرکز جرم) و تکیه‌گاه جسم از عوامل کلیدی در حفظ تعادل مکانیکی هستند.

### 2. تعادل شیمیایی:

تعریف: حالتی در یک واکنش شیمیایی برگشت‌پذیر که در آن سرعت واکنش‌های رفت و برگشت برابر می‌شود و غلظت واکنش دهنده‌ها و فرآورده‌ها در طول زمان ثابت می‌ماند.

حالت پویا: تعادل شیمیایی یک حالت پویا (دینامیک) است، چرا که واکنش در هر دو جهت (رفت و برگشت) به طور پیوسته ادامه دارد، اما به دلیل برابری سرعت‌ها، تغییر قابل اندازه‌گیری در غلظت‌ها مشاهده نمی‌شود.

خواص: در این حالت، خواص ماکروسکوپی سیستم مانند رنگ، فشار و حجم ثابت می‌مانند، در حالی که در سطح مولکولی واکنش ادامه دارد.

نماد: از فلش دو طرفه ( $\rightleftharpoons$ ) در معادلات شیمیایی برای نمایش واکنش تعادلی استفاده می‌شود. نکات کلیدی در مورد تعادل

#### ثبات:

در حالت تعادل، خواص ماکروسکوپی سیستم ثابت می‌ماند.

#### پویایی:

به جز در موارد تعادل ایستا، تعادل‌ها اغلب پویا هستند و فعالیت در سطح میکروسکوپی ادامه دارد.

#### برابری سرعت:

در تعادل شیمیایی، سرعت واکنش رفت برابر با سرعت واکنش برگشت است.

بسته بودن سیستم:

تعادل در سیستم‌هایی برقرار می‌شود که بین آن‌ها و محیط اطرافشان مبادله انرژی یا جرم صورت نگیرد یا به تعادل رسیده باشند.

### 7. مومنت (تورک) قوه

مومنت، که به آن گشتاور نیرو، نیروی چرخشی، یا تورک نیز گفته می‌شود، نیرویی است که باعث چرخش یک جسم حول یک محور می‌شود، درست مانند نیرویی که باعث حرکت خطی جسم می‌شود. مقدار گشتاور به مقدار نیرو، فاصله از محور چرخش (که به آن بازوی مومنت می‌گویند)، و زاویه اعمال نیرو بستگی دارد.

#### مفهوم گشتاور

##### • عامل چرخش:

گشتاور نیرویی است که تمایل دارد جسم را بچرخاند.

##### • مثال روزمره:

وقتی دستگیره در را می‌کشید تا در باز شود، نیروی شما گشتاور ایجاد می‌کند و در حول لولا‌های خود می‌چرخد.

##### • رابطه با نیرو و فاصله:

هرچه نیرو بیشتر باشد و یا نقطه اثر نیرو از محور چرخش دورتر باشد، گشتاور بیشتری ایجاد می‌شود.

اجزای تشکیل دهنده گشتاور

##### • نیرو (F): مقدار نیرویی که به جسم وارد می‌شود.

##### • بازوی مومنت (r): فاصله عمود از نقطه اثر نیرو تا محور چرخش (لولا یا تکیه‌گاه).

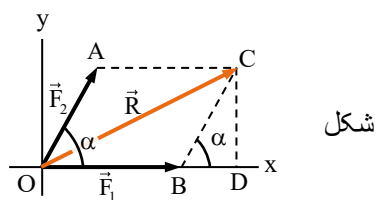
• زاویه: زاویه بین بردار نیرو و بردار موقعیت (بازوی مومنت). (بیشترین گشتاور زمانی رخ می‌دهد که نیرو عمود بر بازوی مومنت باشد (زاویه ۹۰ درجه). واحد اندازه‌گیری

• واحد استاندارد گشتاور در سیستم بین‌المللی یکاها (SI) نیوتن متر (Nm) است

3\_ دانش آموزان باید با اهمیت موضوعات مطرح شده آشنا شوند و بتوانند در زندگی روزمره شان تطبیق نمایند.

بخش اول: دریافت محصلة قوه‌های متلاق به صورت الجبری :

هرگاه دو قوه  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  بر یک جسم در دو بُعد طوری عمل کنند که خطوط تأثیر شان با هم زاویه  $\alpha$  را بسازد، (شکل 10.7). در این صورت برای دریافت بزرگی یا مقدار محصلة و سمت آن، متوازی‌الاضلاع وکتورهای آن دو قوه را تکمیل نموده و از روی آن محصلة را محاسبه می‌کنیم.



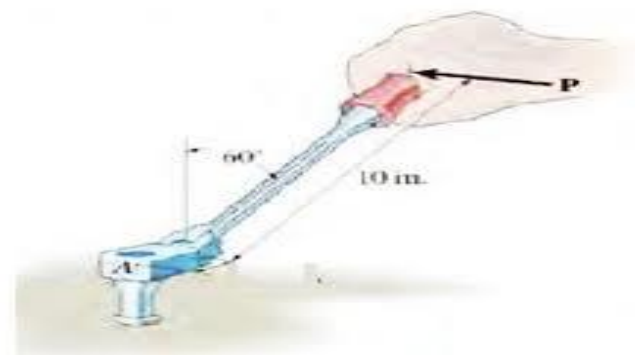
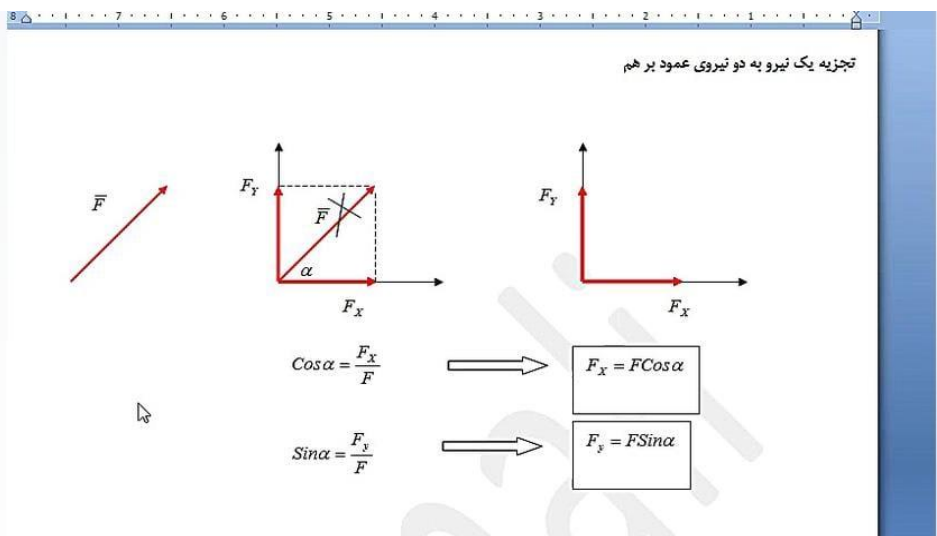
شکل

در مثلث قائم‌الزاویه  $ODC$  دیده می‌شود که:

$$OC^2 = R^2 = OD^2 + DC^2 \dots (i)$$

$$OB = F_1, OD = OB + BD = F_1 + BD$$

حالا اگر قیمت  $OD$  را در رابطه  $(i)$  می‌گذاریم، پس داریم که:



فرمول مومنت:  $M = F \times L$  که در این فرمول  $M$  مومنت  $F$  قوه و  $L$  طول محور دوران می باشد.

مثال : اگر طول یک میله 0,5m باشد در صورتیکه قوه واریده 10N بوده مومنت آن را دریابید؟

$$M = F \times L = 10N \times 0,5m = 5Nm$$

### 8. تجزیه یک قوه.

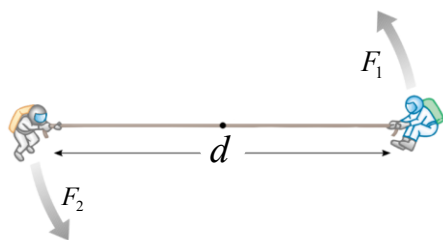
تجزیه نیرو به معنای تبدیل یک نیروی واحد به دو یا چند نیروی دیگر است که به جای آن نیرو عمل کنند، به طوری که اثر مجموع آن‌ها با اثر نیروی اصلی برابر باشد. از آنجایی که نیرو یک کمیت برداری است، این تجزیه به مولفه‌هایی انجام می‌شود که اغلب عمود بر یکدیگر هستند و با استفاده از اصول مثلثات و روابط سینوس و کسینوس محاسبه می‌شوند.

### دوره سوم:

#### اهداف آموزشی:

1\_ دانش آموزان با مفاهیم اساسی موضوعات (محاسبه الجبری قوه محصلة چندین قوه، زوج قوه، شرایط عمومی تعادل، شرط اول تعادل، شرط دوم تعادل، تعبیر دیگری از فارمول مومنت، انتخاب موقعیت نقطه دوران) آشنایی کامل دریافت کند.

2\_ دانش آموزان با موارد استفاده از تعادل و شرایط تعادل آگاهی کامل کسب نمایند.



هرگاه دو قوه موازی که دارای جهت های متقابل باشند، عموداً بر یک محور و بر دو نقطه متفاوت یک جسم اثر کنند، آن‌ها را زوج قوه‌ها می‌گویند، در یک زوج قوه، هر دو قوه تأثیرات هم‌دیگر را بر محور از بین می‌برند. مومنت دوران یک زوج قوه، صرف نظر از این که محور دوران در کدام

موقعیت قرار داشته باشد، همیشه عین قیمت را دارد. مومنت دوران در یک زوج قوه برای قوه‌های  $F_1 = F_2 = F$  که از هم‌دیگر به فاصله  $d$  قرار شکل ذیل عمل می‌کند، دارای قیمت ذیل است.

### مرکز ثقل

مرکز ثقل یک جسم نقطه‌ای است که تصور می‌شود، تمام وزن جسم در همان نقطه جمع شده باشد و یا به عباره دیگر نقطه تأثیر محصله اوزان تمام ذرات یک جسم را مرکز ثقل همان جسم گویند.

● مرکز ثقل دایره و کره مراکز آن‌ها است.

● مرکز ثقل مربع، مستطیل، لوزی و متوازی الاضلاع نقطه تقاطع اقطار شان اند.

● مرکز ثقل مثلث نقطه تقاطع میانه‌های آن که به اندازه  $1/3$  حصه میانه از قاعده و  $2/3$  حصه میانه از رأس مقابل آن واقع می‌باشد.

● مرکز ثقل ذوزنقه در نقطه تقاطع خط موصول مراکز ثقل مثلث‌ها و خط موصول تقاطع تنصیف دو ضلع موازی آن قرار دارد.

● مرکز ثقل استوانه در نقطه تنصیف خط موصول مراکز دوایر قاعدتین آن است.

● مرکز ثقل هرم و مخروط  $1/4$  حصه از قاعده و  $3/4$  حصه از رأس آن‌ها واقع است.

### مرکز ثقل یک سیستم که از چندین کتله واحد ساخته شده است

اگر در ساختار یک جسم چندین جسم با کتله‌های متفاوت بکار رفته باشد، در این صورت مرکز ثقل جسم که بنام مرکز کتله آن نیز یاد می‌شود، قرار ذیل تعریف می‌گردد نقطه‌ای که فرض می‌شود، همه کتله یک جسم در آن نقطه متمرکز شده است، بنام مرکز کتلوی آن جسم گفته می‌شود، که اگر فاصله به  $cm$  اندازه شود، مختصات آن را قرار ذیل دریافت می‌کنیم.

$$R^2 = (F_1 + BD)^2 + DC^2$$

$$R^2 = F_1^2 + 2F_1 \cdot BD + BD^2 + DC^2 \dots (ii)$$

از مثلث قائم‌الزاویه  $BDC$  چنین می‌توان نوشت:

$$BC^2 = F_2^2 = BD^2 + DC^2$$

اکنون به عوض  $BD^2 + DC^2$  مقدار مساوی آن یعنی  $F_2^2$  را در رابطه (ii) می‌گذاریم:

$$R^2 = F_1^2 + 2F_1 \cdot BD + F_2^2 \dots (iii)$$

از مثلث  $BDC$  مقدار  $BD$  را دریافت نموده و در رابطه (iii) وضع می‌کنیم:

$$BD = F_2 \cos \alpha$$

$$R^2 = F_1^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cos \alpha + F_2^2$$

در نتیجه مقدار قوه محصله را توسط رابطه ذیل محاسبه می‌کنیم.

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \times F_2 \cos \alpha}$$

ما گفتیم که مقدار قوه محصله به بزرگی زاویه‌ای که بین دو قوه وجود دارد، ارتباط دارد، اکنون قیمت محصله ( $\vec{R}$ ) را نظر به قیمت  $\alpha$  مورد مناقشه قرار می‌دهیم.

(الف) اگر بین دو قوه  $\alpha = 0$  باشد، یعنی قوه‌ها هم‌جهت باشند، داریم که:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

(ب) اگر زاویه بین دو قوه  $90^\circ$  باشد، یعنی قوه‌ها بالای هم عمود باشد، در این صورت محصله را چنین می‌نویسیم.

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

(ج) محصله قوه‌های مختلف‌الجهات ( $\alpha = 180^\circ$ ) را می‌توانیم از رابطه ذیل محاسبه کنیم.

$$R = |F_1 - F_2|$$

زوج قوه

$$= \frac{(6kg \cdot cm)}{(6kg)} = \boxed{1cm}$$

در نتیجه مختصات مرکز کتله طور ذیل می باشد.

$$M(2,1)$$

مثال 2. به شکل ذیل توجه نمائید، مختصات مرکز کتله را دریابید.

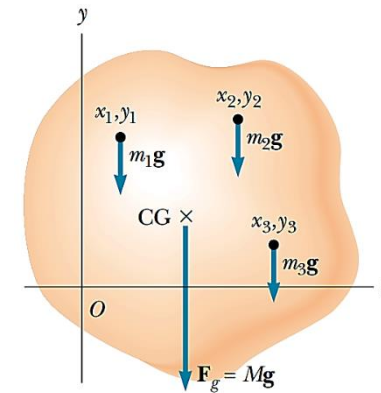
حل. در قدم نخست مرکز کتلوی هر یک از اشکال را دریافت نموده و بعداً مرکز ثقل سیستم دریافت می گردد.

$$\begin{aligned} M_l(x_M, y_M) \\ x_M &= \frac{m_l \cdot (x_1 + x_2)}{2m_l} = \frac{6kg \cdot (2m + 9m)}{2 \cdot 6kg} \\ &= \frac{(66kg \cdot m)}{12kg} = 5.5m \\ y_M &= \frac{m_l \cdot (y_1 + y_2)}{2m_l} = \frac{6kg \cdot (7m + 7m)}{2 \cdot 6kg} \\ &= \frac{(84kg \cdot m)}{12kg} = 7m \\ &\underline{M_l(5.5m, 7m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s(x_M, y_M) \\ x_M &= \frac{m_s \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{4m_s} = \frac{5kg \cdot (-5m - 5m - 2m - 2m)}{4 \cdot 5kg} \\ &= \frac{(-70kg \cdot m)}{20kg} = -3.5m \\ y_M &= \frac{m_s \cdot (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)}{4m_s} = \frac{5kg \cdot (5m + 5m + 2m + 2m)}{4 \cdot 5kg} \\ &= \frac{(70kg \cdot m)}{20kg} = 3.5m \\ &\underline{M_s(-3.5m, 3.5m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(x_{CM}, y_{CM}) \\ x_{CM} &= \frac{(m_1x_1 + m_2x_2 + \dots)}{(m_1 + m_2 + \dots)} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i} \\ y_{CM} &= \frac{(m_1y_1 + m_2y_2 + \dots)}{(m_1 + m_2 + \dots)} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i} \end{aligned}$$

مثال 1. مختصات مرکز کتله سیستم ذیل را دریابید.



حل.

$$\begin{aligned} M(x_{cm}, y_{cm}) \\ x_{cm} &= \frac{[3kg \cdot 6cm + 2kg \cdot (-3cm) + 1kg \cdot 0]}{(3kg + 2kg + 1kg)} \\ &= \frac{(18kg \cdot cm - 6kg \cdot cm)}{6kg} \\ &= \frac{(12kg \cdot cm)}{(6kg)} = \boxed{2cm} \\ y_{cm} &= \frac{[3kg \cdot 4cm + 2kg \cdot (-1cm) + 1kg \cdot (-4cm)]}{(3kg + 2kg + 1kg)} \\ &= \frac{(12kg \cdot cm - 2kg \cdot cm - 4kg \cdot cm)}{6kg} \end{aligned}$$

مثال 3. مختصات مرکز کتله را نظر به شکل مقابل طوری دریافت نمایید که  $m_1 = m_2 = 1.0kg$  و  $m_3 = 2.0kg$  باشد.

حل.

$$x_{cm} = \frac{\sum_i m_i x_i}{M} = \frac{(m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3)}{(m_1 + m_2 + m_3)}$$

$$= \frac{1.0kg \cdot 1.0m + 1.0kg \cdot 2.0m + 2.0kg \cdot 0m}{1.0kg + 1.0kg + 2.0kg}$$

$$= \frac{3.0kg \cdot m}{4.0kg} = 0.75m$$

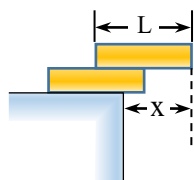
$$y_{cm} = \frac{\sum_i m_i y_i}{M} = \frac{(m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3)}{(m_1 + m_2 + m_3)}$$

$$= \frac{1.0kg \cdot 0m + 1.0kg \cdot 0m + 2.0kg \cdot 2.0m}{1.0kg + 1.0kg + 2.0kg}$$

$$= \frac{4.0kg \cdot m}{4.0kg} = 1.00m$$

در نتیجه مختصات مرکز کتله (0.75, 1.00) می باشد.

مثال 4. دو کتاب هم شکل و هم وزن به طول  $L$  مطابق شکل ذیل روی هم قرار دارند فاصله اعظمی پیش بر آمدگی ( $x$ ) را حساب کنید طوری که کتاب ها سقوط نکنند.



حل.

$$x_1 = \frac{(M) \cdot (L/2)}{M} = L/2$$

$$M_t(x_M, y_M)$$

$$x_M = \frac{m_t \cdot (x_1 + x_2 + x_3)}{3m_t} = \frac{3kg \cdot (8m + 8m + 4m)}{3 \cdot 3kg}$$

$$= 3kg \cdot 20m/9kg = 6.67m$$

$$y_M = \frac{m_t \cdot (y_1 + y_2 + y_3)}{3m_t} = \frac{3kg \cdot (5m + 1m + 1m)}{3 \cdot 3kg}$$

$$= 3kg \cdot 7m/9kg = 2.34m$$

$$M_t(6.67m, 2.34m)$$

و حالا داریم که:

$$M(x_M, y_M)$$

$$x_M = \frac{[6kg \cdot 5.5m + 5kg \cdot (-3.5m) + 3kg \cdot 6.67m]}{(6kg + 5kg + 3kg)}$$

$$= \frac{(33kg \cdot m - 17.5kg \cdot m + 20.01kg \cdot m)}{(14kg)}$$

$$= \frac{(35.51kg \cdot m)}{(14kg)} = \boxed{2.54m}$$

$$y_M = \frac{(6kg \cdot 7m + 5kg \cdot 3.5m + 3kg \cdot 2.34m)}{(6kg + 5kg + 3kg)}$$

$$= \frac{(6kg \cdot 7m + 5kg \cdot 3.5m + 3kg \cdot 2.34m)}{(6kg + 5kg + 3kg)}$$

$$= \frac{(42kg \cdot m + 17.5kg \cdot m + 7.02kg \cdot m)}{(14kg)}$$

$$= \frac{(66.52kg \cdot m)}{(14kg)} = \boxed{4.75m}$$

در نتیجه مختصات مرکز کتلوی بدست آمد که قرار زیر است.

$$M(2.54, 4.75)$$

$$x_2 = \frac{(M) \cdot (L/2)}{2M} = L/4$$

$$x = x_1 + x_2 = L/2 + L/4 = 3L/4$$

### شرایط تعادل (Equilibrium's Condition):

هرگاه چندین قوه بر نقاط مختلف یک جسم عمل کند و جسم در حالت تعادل قرار داشته باشد، این معنی را می‌دهد که محصله تمام قوه‌های مؤثر بر جسم مساوی به صفر گردد و برعکس اگر این شرط تحقق نیابد، قوه محصله باعث تولید تعجیل یا شتاب در جسم گردیده و این تعجیل، جسم را در یک حرکت انتقالی قرار می‌دهد. جسمی که در حالت تعادل قرار دارد، نباید دوران داشته باشد و برای تحقق این مطلب لازم است که مجموع مومنت‌های دوران به حول یک نقطه کیفی دوران، نیز مساوی به صفر شود. هر دو شرط فوق را شرایط تعادل قبول کرده اند. پس در صورتی که چند قوه در نقاط مختلف و کیفی یک جسم عمل کنند، این جسم وقتی در حالت تعادل قرار می‌گیرد که دو شرط ذیل در آن تحقق یابد.

شرط اول: محصله قوه‌های عامل بر آن مساوی به صفر گردد.

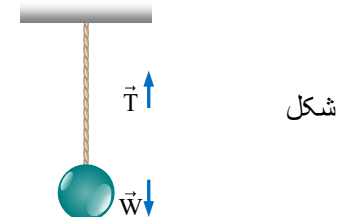
$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots = \Sigma F = 0$$

و یا به صورت مؤلفه:  $\Sigma F_x = 0 \wedge \Sigma F_y = 0$

شرط دوم: مجموع تمام مومنت‌های دوران به حول یک نقطه کیفی دوران در جسم باید مساوی به صفر باشد.

$$F_1 L_1 + F_2 L_2 + F_3 L_3 + \dots = \Sigma \tau = \Sigma M = 0$$

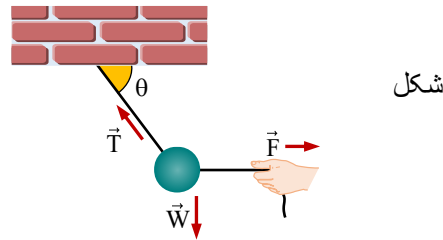
مثال (1): یک کتله به وزن  $10N$  توسط یک تار به سقف خانه آویزان شده و به حالت سکون قرار دارد، (شکل 10.27). قوه کشش در تار محاسبه کنید.



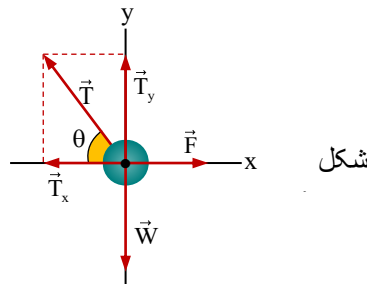
حل: چون جسم به حالت سکون است، پس قوه‌های عامل بر آن به حالت تعادل هستند، یعنی:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow T + (-W) = 0 \Rightarrow T - W = 0 \Rightarrow T = 10N$$

مثال (2): جسمی که توسط یک تار آویزان شده است، توسط یک قوه  $\vec{F} = 15N$  که به طور افقی عمل نموده و تار با سقف زاویه  $\theta = 53^\circ$  را تشکیل می‌دهد، (شکل 10.28). و جسم را در حالت تعادل نگهداشته است، کشیده می‌شود قوه کشش ( $\vec{T}$ ) را که بر تار عمل می‌کند محاسبه نموده و هم وزن جسم ( $\vec{W}$ ) را به دست آورید.



حل: در این جا سه قوه که در حال تعادل هستند، بر جسم تأثیر می‌کنند. این سه قوه عبارت اند از: (الف) قوه وزن جسم ( $\vec{W}$ )، (ب) قوه وارده ( $\vec{F}$ ) که بر جسم عمل می‌کند، (ج) قوه کشش ( $\vec{T}$ ) که بر تار عمل می‌کند، اولاً این سه قوه را به یک سیستم مختصات قائم انتقال می‌دهیم. سپس شرط اول تعادل را در هر دو محور x و y بر جسم تطبیق می‌کنیم. (شکل 10.29).



تطبیق شرط اول تعادل بر محور x:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow F - T_x = 0 \Rightarrow T_x = F$$

$$\Rightarrow T \cos \theta = F \Rightarrow T \cos 53^\circ = 15N \Rightarrow T \times 0.6 = 15N$$

$$\Rightarrow T = 25N$$

اکنون شرط اول تعادل را بر محور y تطبیق می‌نماییم:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow T_y - W = 0 \Rightarrow W = T_y$$

$$\Rightarrow R_x = T \cos 37^\circ = (100N)(0.8) \Rightarrow R_x = 80N$$

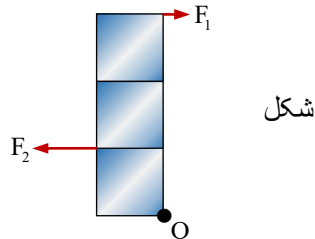
قوة عكس العمل از قاعدة فيثاغورث چنین محاسبه می شود:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_y + T_y - W = 0$$

$$\Rightarrow R_y + (100N)(\sin 37^\circ) - 120N = 0$$

$$\Rightarrow R_y = 60N \Rightarrow R^2 = R_x^2 + R_y^2 \Rightarrow R = 100N$$

**مثال (4):** یک بکس فرض می شود بدون وزن و از سه مربع ساخته شده است، به حل نقطه O آزادانه دوران می کند، (شکل 10.32). اگر  $F_1 = 10N$  بوده و هر ضلع مربع  $1m$  باشد، مقدار  $F_2$  قوة که صندوق را به تعادل می آورد محاسبه کنید.

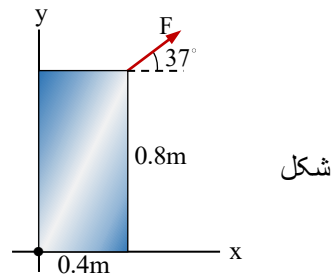


**حل:** برای حالت تعادل نوشته می توانیم که:

$$\sum M = 0 \Rightarrow F_2 d_2 - F_1 d_1 = 0 \Rightarrow F_2(1m) - (10N)(3m) = 0$$

$$\Rightarrow F_2 = 30N$$

**مثال (5):** قوة  $F = 100N$  بالای جسمی نازکی تقریباً مستطیل شکل دارای ابعاد  $(0.8m \times 0.4m)$  در رأس مقابل نقطه دوران (O) که با سطح افقی محور مثبت x زاویه  $37^\circ$  را ساخته است، عمل نموده است، (شکل 10.33).

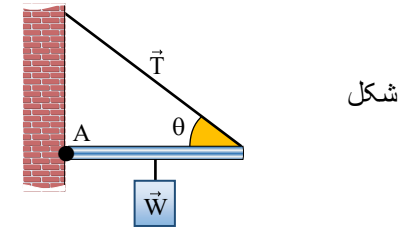


برای این که حالت تعادل را اختیار نماید، مقدار  $\vec{F}_x$  و  $\vec{F}_y$  را محاسبه کنید.

$$\Rightarrow W = T \sin \theta = (25N)(\sin 53^\circ) = (25N)(0.8) = 20N$$

$$\Rightarrow W = 20N$$

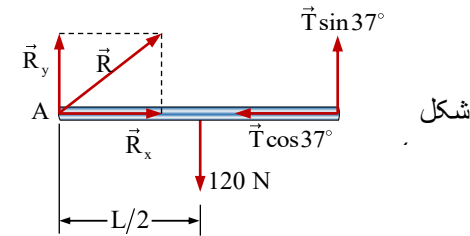
**مثال (3):** یک انجام یک دستک چوبی بسیار سبک به طول L به صورت افقی که فرض می کنیم دارای وزن نیست، در نقطه A و انجام دیگر آن به وسیله یک ریسمان که با دستک زاویه  $\theta = 37^\circ$  را تشکیل داده به دیواری وصل گردیده است، یک جسم به وزن  $\vec{W} = 120N$  در نقطه وسطی دستک آویزن شده است، (شکل 10.30).



(الف) قوة کشش ( $\vec{T}$ ) را در ریسمان دریافت کنید.

(ب) قوة عكس العمل ( $\vec{R}$ ) که دیوار بر دستک در نقطه A عمل می کند چند است؟

**حل:** (الف) قوة کشش را به مرکبه های شان تجزیه می کنیم، (شکل 10.31). با تطبیق شرط دوم تعادل داریم که:



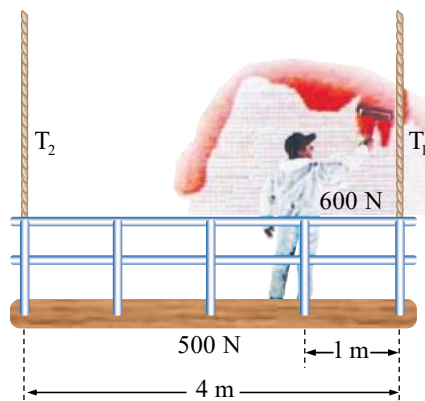
$$\sum M = 0 \Rightarrow T_y \times L - W\left(\frac{L}{2}\right) = 0$$

$$\Rightarrow (T \cdot \sin 37^\circ)L - (120N)\left(\frac{L}{2}\right) = 0 \Rightarrow T(0.6) = 60N$$

$$\Rightarrow T = 100N$$

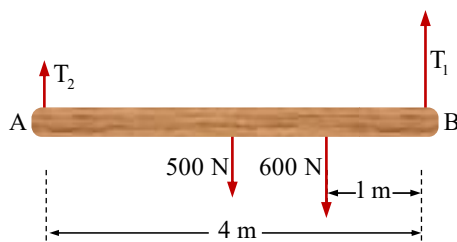
(ب) از شرط اول تعادل داریم:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow R_x - T_x = 0 \Rightarrow R_x = T_x$$



شکل

حل: در قدم نخست قوه‌های که در سیستم عمل می‌کنند، رسم می‌کنیم، (شکل 10.36).



شکل

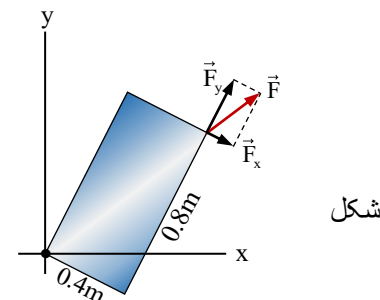
چون سیستم در حالت تعادل است، پس می‌توان اصل تعادل مومنت را به کار بُرد. برای محاسبه قوه‌های  $T_1$  و  $T_2$  اولاً نقطه A یعنی نقطه تأثیر قوه  $T_2$  و سپس نقطه تأثیر قوه  $T_1$  یعنی B را انتخاب می‌کنیم.

$$\begin{aligned}\sum M_A = 0 &\Rightarrow T_2 \cdot 0 + T_1 \cdot L - (500N) \cdot \frac{L}{2} - (600N) \cdot \frac{3L}{4} = 0 \\ &\Rightarrow 0 + T_1(4m) - (500N) \cdot \frac{4m}{2} - (600N) \cdot \frac{12m}{4} = 0 \\ &\Rightarrow T_1 = 700N\end{aligned}$$

و برای محاسبه قوه  $T_2$  داریم که:

$$\begin{aligned}\sum M_B = 0 &\Rightarrow T_1 \cdot 0 + T_2 \cdot L - (500N) \cdot \frac{L}{2} - (600N) \cdot \frac{L}{4} = 0 \\ &\Rightarrow 0 + T_2(4m) - (500N) \cdot \frac{4m}{2} - (600N) \cdot \frac{4m}{4} = 0 \\ &\Rightarrow T_2 = 400N\end{aligned}$$

حل: زاویه که قوه  $\vec{F}$  با محور مثبت x ساخته است، برای دریافت مرکبه‌ها مهم نیست، چون جسم پس از کمی دوران در تعادل قرار می‌گیرد، وکتور قوه آن‌وقت در امتداد قطر مستطیل عمل می‌کند، شکل (10.34). با افزایش قوه مرکبه‌ها نیز افزایش می‌یابد.



شکل

برای حالت تعادل می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned}\sum M = 0 &\Rightarrow (F_y)(0.4m) - (F_x)(0.8m) = 0 \\ &\Rightarrow (F_y)(0.4m) = (F_x)(0.8m) \Rightarrow F_y = 2F_x \dots (i)\end{aligned}$$

اکنون نظر به قضیه فیثاغورث داریم که:

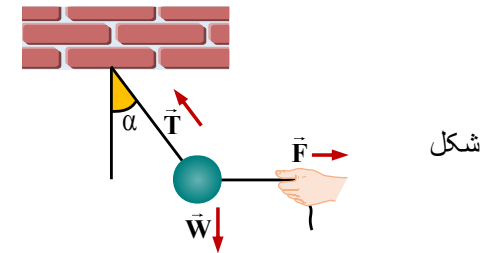
$$(F_x)^2 + (F_y)^2 = F^2 \Rightarrow (F_x)^2 + (F_y)^2 = 10000N^2 \dots (ii)$$

اگر رابطه اول را در دوم وضع کنیم پس مرکبه‌ها را چنین می‌یابیم:

$$\begin{aligned}(F_x)^2 + (2F_x)^2 &= 10000N^2 \Rightarrow 4(F_x)^2 = 10000N^2 \\ &\Rightarrow (F_x)^2 = 2500N^2 \Rightarrow \sqrt{(F_x)^2} = \sqrt{2500N^2} \Rightarrow F_x \approx 50N \\ &\Rightarrow F_y = 2F_x = 2(50N) = 100N \Rightarrow F_y \approx 100N\end{aligned}$$

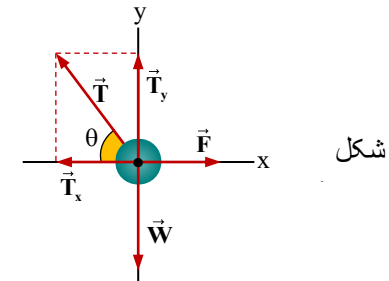
**مثال (6):** یک رنگ‌مال که 600 نیوتن وزن دارد، در موقعیت معینی بر روی یک خوازه چوبی که وزن آن 500 نیوتن می‌باشد که از دوطرف به دو ریسمان آویزان شده است، ایستاده و دیواری را رنگ می‌کند، (شکل 10.35). مقدار قوه‌های کشش  $T_1$  و  $T_2$  را که بر ریسمان عمل می‌کنند به دست آرید. (از سایر وزن‌ها در سیستم صرف نظر می‌شود).

**مثال (7):** اگر یک گلوله به وزن  $\vec{W}$  مطابق شکل (10.37) به کمک قوه افقی  $30.0\text{ N}$  در حالت تعادل است؛ و ریسمان زاویه  $37.0^\circ$  را با عمود ساخته است؛ مقدار کتله گلوله را به  $kg$  محاسبه کنید؛ اگر  $g = 10.0\text{ N/kg}$  باشد.



شکل

**حل:** در قدم نخست زاویه را می یابیم که با سطح افق قوه کشش ساخته است؛ یعنی  $\theta = 90.0^\circ - \alpha = 53.0^\circ$  می باشد؛ گفتیم که جسم در حالت تعادل است؛ پس با در نظر داشت شکل (10.38) و شرط اول تعادل داریم



شکل

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F + (-T_x) = 0 \Rightarrow T_x = F = 30.0\text{ N}$$

اکنون قوه کشش را توسط رابطه ذیل دریافت می کنیم

$$T_x = T \cos \theta \Rightarrow 30.0\text{ N} = T \cos 53.0^\circ \Rightarrow T = 50.0\text{ N}$$

برای دریافت مقدار  $T_y$  داریم که

$$T_y = T \sin \theta = (50.0\text{ N}) (\sin 53.0^\circ) \Rightarrow T_y = 40.0\text{ N}$$

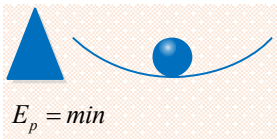
و حالا می دانیم که  $\sum F_y = 0$  است و داریم

$$T_y + (-W) = 0 \Rightarrow W = T_y = 40.0\text{ N}$$

پس از رابطه  $\vec{W} = m\vec{g}$  خواهیم نوشت که

$$m = \frac{W}{g} \Rightarrow m = \frac{40.0\text{ N}}{10.0\text{ N/kg}} = 4\text{ kg}$$

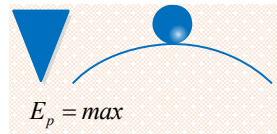
### 1. تعادل پایدار یا ثابت



تعادلی را گویند که اگر یک جسم از حالت اولی اش بیجا یا منحرف گردد، دوباره حالت اولی را اختیار نماید، این نوع تعادل زمانی تشکیل می شود که:

- ☛ فاصله بین مرکز ثقل و نقطه اتكاء کم باشد.
- ☛ سطح قاعده جسم بزرگ باشد.
- ☛ انرژی پوتانشیل جسم اصغری باشد.

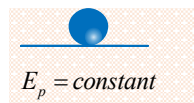
### 2. تعادل ناپایدار یا غیر ثابت



عبارت از تعادلی است که اگر یک جسم از حالت اولیش بی جا یا منحرف گردد دوباره حالت اولی را اختیار کرده نتواند و این تعادل زمانی تشکیل می شود که:

- ☛ نقطه اتكاء از قاعده دور باشد.
- ☛ سطح قاعده جسم کوچک باشد.
- ☛ جسم دارای انرژی پوتانشیل اعظمی باشد.

### 3. تعادل بی تفاوت



آن حالت یک جسم است در تمام حالات دارای تعادل باشد، و این تعادل زمانی تشکیل می شود که:

- ☛ فاصله مرکز ثقل از نقطه اتكاء ثابت باشد.
- ☛ سطح اتكاء جسم در هر حالت ثابت باقی بماند.
- ☛ انرژی پوتانشیل جسم نیز در تمام حالات ثابت باشد.

## کته نقطوی چیست؟

کته عبارت از مقدار مواد است که در جسم، جایجا شده است و واحد اندازه گیری آن کیلوگرام است. که عملاً کته یک لیتر آب خالص در حرارت  $4^{\circ}\text{C}$  را یک کیلوگرام قبول نموده اند. اصطلاح دیگری که در موارد معین در علم فزیک بکار برده می شود، عبارت از کته نقطه پی است که بخاطر، ایجاد سهولت در حل مشکل ها و مسایل علم فزیک از آن استفاده می شود.

## دوره چهارم:

### اهداف آموزشی:

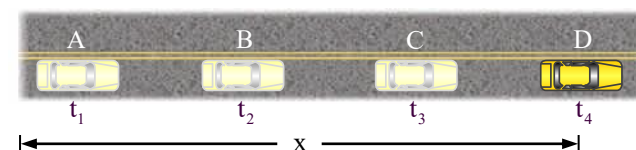
1\_ دانش آموزان با مفاهیم اساسی موضوعات (حرکت یک بعدی، حرکت به امتداد خط مستقیم، موقعیت، تغییر مکان، سرعت، سرعت متوسط و لحظوی، گراف سرعت - زمان) آشنایی کامل دریافت کند.

2\_ دانش آموزان با موارد استفاده از موقعیت و سرعت آگاهی کامل کسب نمایند.

3\_ دانش آموزان باید با اهمیت موضوعات هذا آشنا شده و بتوانند در زندگی روزمره شان تطبیق نمایند.

### بخش اول: مفهوم حرکت یک بعدی

آیا تا بحال حرکت روی مسیر مستقیم را دیده اید؟ حرکت به امتداد خط مستقیم روی یکی از محاورات  $x$  یا  $y$  یا  $z$  را حرکت یک بعدی می گویند؛ که در آن مسیر حرکت، مسیر مستقیم است؛ که به نام حرکت مستقیم الخط نیز یاد می کنند؛ مانند حرکت یک موتر به روی مسیر مستقیم سرک قیرشده و یا مسیر حرکت پرتاب جسم به طرف زمین نیز از جمله حرکات مستقیم الخط می باشند؛



☆ این جسم متحرک در لحظه های زمانی  $t_1, t_2, t_3$  و  $t_4$  به ترتیب در موقعیت های  $A, B, C$  و  $D$  روی مسیر مستقیم نشان می دهد.

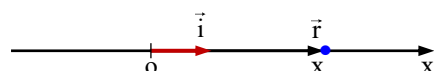
☆ در حرکت به امتداد خط مستقیم اگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنیم؛ وکتورهای موقعیت و وکتورهای تغییر مکان هم جهت هستند و این سبب می شود که محاسبه بر روی این وکتورها به سادگی انجام پذیرد.

### وکتور موقعیت و تغییر موقعیت

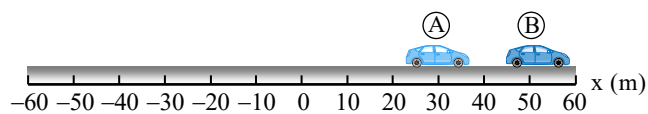
قبلاً گفتیم که در حرکات یک بعدی وکتور موقعیت و تغییر موقعیت هم جهت می باشند؛ در شکل زیر جسمی بر روی محور  $x$  نمایش داده شده است. مکان جسم با وکتور  $\vec{r}$  را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\vec{r} = x\vec{i} \quad \vee \quad |\vec{r}| = x$$

در این رابطه  $\vec{r}$  وکتور موقعیت،  $|\vec{r}|$  مقدار وکتور موقعیت و  $\vec{i}$  وکتوری واحد که در جهت محور  $x$  است.

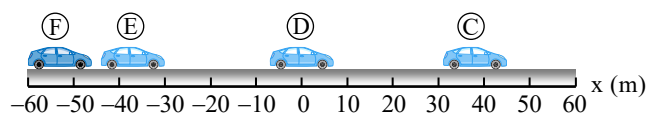


برای همیشه موقعیت جسم را از مبدأ، وکتور موقعیت نشان می دهد؛ و اگر در مسیر مستقیم جسم متحرک در نقطه  $A$  از مبدأ  $\vec{r}_1$  و در نقطه  $B$  از مبدأ  $\vec{r}_2$  نشان داده شود؛ مانند شکل زیر که موتر به سمت راست حرکت می کند؛ و در شکل زیر موتر به سمت چپ از سمت نقطه  $C$  تا نقطه  $F$  تغییر موقعیت داده است؛ پس می توانیم بگوییم که تغییر موقعیت موتر در هر نقطه به اندازه  $\Delta\vec{r}$  می باشد؛ این وکتور را به نام وکتور تغییر موقعیت (displacement) یاد می نمایند؛ که در حرکات مستقیم الخط مقدار  $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$  با  $\Delta x = x_2 - x_1$  مساوی است و جهت آن همیشه مستقیم، هم جهت به مسیری جسم متحرک می باشد.

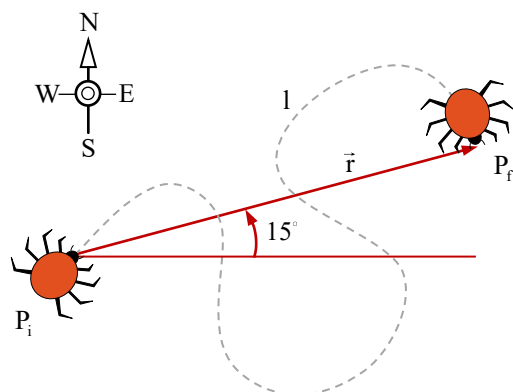


(الف)

شکل



(ب)



☆ **تیزی متوسط (average speed)** معیاری است که نشان می‌دهد یک جسم با چه تندی در فضا حرکت می‌کند که ضمناً یک کمیت اسکالری است. فرض کنید جسمی در مدت زمان  $t$  مسافت  $l$  را می‌پیماید تیزی متوسط چنین تعریف می‌گردد.

$$\bar{S} = \frac{\text{مسافت کل طی شده}}{\text{زمان صرف شده}}, \quad \bar{S} = \frac{l}{t}$$

تیزی متوسط

☆ و یا اگر جسم متحرک فاصله  $l_1$  را در زمان  $t_1$ ، فاصله  $l_2$  را در زمان  $t_2$ ، و همین قسم فاصله  $l_n$  در زمان  $t_n$  طی نموده باشد؛ تیزی متوسط را می‌توان توسط رابطه ذیل محاسبه کرده می‌توانیم.

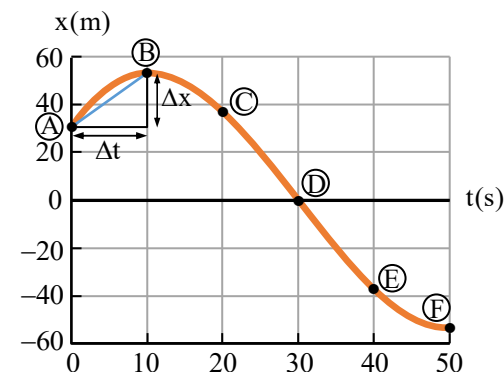
$$\bar{S} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

☆ باید گفت که تیزی متوسط می‌تواند در فضای یک‌بعدی، دو بعدی و یا سه‌بعدی مطالعه گردد؛ واحد روزمره تیزی  $\text{mile/hr}$  است، اما در کارهای علمی بهتر است از واحد کیلومتر بر ساعت یا  $(\text{km/hr})$  بهتر یا مناسب‌تر از متر بر ثانیه  $(\text{m/s})$  استفاده می‌کنیم.

**مثال (1):** شاگردی با یک موتور در 30 دقیقه، 10 کیلومتر رانندگی می‌کند تیزی متوسط او از جنس  $\text{m/s}$  چقدر است.

**حل:** معادله مربوط به  $\bar{S} = \frac{l}{t}$  است. در این جا  $l$  بر حسب کیلومتر و  $t$  بر حسب دقیقه است، بنابراین اولین کار تبدیل 10 کیلومتر به متر و 30 دقیقه به ثانیه است.  $(1000 \text{ m/}) (10 \text{ km})$   
 $(60 \text{ s/}) (30 \text{ min}) = 10.0 \times 10^3 \text{ m}$  و هر دقیقه 60 ثانیه می‌گردد؛ که  $60 \text{ s/}$

اگر بخواهیم که گراف حرکت موتور را روی محور  $x$  رسم نماییم؛ در قدم اول محورات  $(x - t)$  را عموداً بالای هم در واحدهای SI رسم نموده که محور حرکت به صورت عمودی و محور زمان افقی باشند، شکل (8.4)؛ که حرکت موتور از فاصله 30 متری از مبدأ در زمان  $t = 0$  قرار داشته شروع می‌گردد؛ در صورتی که گراف در هر 20 متری، زمان 10 ثانیه سپری گردد؛ و گراف آن را چنین رسم می‌کنیم.



مبحث گراف را بعداً نیز مطالعه خواهیم کرد.

### مفهوم تیزی و سرعت

☆ **تعریف تیزی:** مسافت طی شده در فی واحد زمان بنام تیزی یاد می‌شود.

☆ **تعریف سرعت:** فاصله طی شده در فی واحد زمان بنام سرعت یاد می‌شود.

کمیت‌های اسکالری با اعداد معمولی مشخص می‌شوند و جمع و تفریق آن‌ها نیز از راه‌های معمولی انجام می‌شود. دو کلوچه در یک جعبه با هفت کلوچه جمعاً نه کلوچه می‌شود. اما در این مبحث در مورد تیزی چیزی بحث نکردیم؛ حال می‌توانیم بگوییم که تیزی نیز از جمله کمیت اسکالری می‌باشد؛ اگر شما سوار وسیله نقلیه‌ی شوید و مسافتی را طی کنید که ما آن را به حرف  $l$  نشان می‌دهیم. فرض کنید پس از آن کیلومتر شمار 100 مایل (معادل 161 کیلومتر) را نشان می‌دهد؛ یعنی این مقدار از مسیر را بدون توجه به تپه‌ها یا پیچ‌ها طی کرده اند. به همین ترتیب، حشره در شکل زیر مسافت  $l$  را در امتداد مسیری مارپیچ طی کرده است؛  $l$  طول مسیر نیز نامیده می‌شود و یک کمیت اسکالری است (در ضمن برای فاصله معمولاً از  $d$  استفاده نمی‌کنند زیرا این حرف به طور گسترده برای نمایش مشتق استفاده می‌شود).

$1800 \text{ s} = \text{min}$  می باشد؛ حال باید  $\bar{S}$  را محاسبه و پاسخ عددی را تا سه رقم با معنا ارائه دهیم

$$\bar{S} = \frac{l}{t} = \frac{10.0 \times 10^3 \text{ m}}{1800 \text{ s}} = 5.56 \text{ m/s}$$

**مثال (2):** یک روبات در حالی که با تیزی ثابت  $4.25 \text{ m/s}$  در یک کارگاه ماشین سازی می لغزد؛ مسافت  $17.0 \text{ m}$  را طی می کند. این سفر چه مدت طول کشیده است.

**حل:** چون تیزی ثابت است معادله مربوط  $S = \frac{l}{t}$  است. که نظر به قاعده ریاضی داریم که

$$t = \frac{l}{S} = \frac{17.0 \text{ m}}{4.25 \text{ m/s}} = 4.00 \text{ s}$$

**مثال (3):** یک بایسکل سوار که بر روی خط مستقیم حرکت می کند، 100 متر اول را در مدت  $20 \text{ s}$ ، 200 متر بعدی را در مدت  $30 \text{ s}$  و 100 متر آخر را در مدت  $20 \text{ s}$  طی می کند. تیزی متوسط این بایسکل سوار در کل مدت حرکت را از جنس  $\text{km/h}$  محاسبه کنید.

**حل:** نظر به فورمول تیزی متوسط داریم که:

$$\bar{S} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{(100 + 200 + 100) \text{ m}}{(20 + 30 + 20) \text{ s}} = \frac{40 \text{ m}}{7 \text{ s}} = 5.71 \text{ m/s}$$

☆ **کمیت های وکتوری:** یک مفهوم فیزیکی است که به طور ذاتی جهت دار است و با در دست داشتن بزرگی (یعنی اندازه) و جهت می تواند محاسبه شود. بسیاری از مفاهیم فیزیکی نظیر تغییر موقعیت، سرعت، قوه و اندازه حرکت وکتوری اند. به طوری کلی یک وکتور (که بیان گر مقدار مشخصی از یک کمیت وکتوری است) به صورت خطی جهت دار نشان داده می شود که جهت و بزرگی این وکتور را مشخص می کند.

☆ **سرعت (Velocity):** کمیت وکتوری است که برگرفته تغییرات فاصله نظر به زمان در جهت حرکت است، در حرکات یک بعدی اگر جسمی در بازه زمانی  $\Delta t$  وکتور تغییر موقعیت  $\Delta x$  را طی کند، آن گاه:

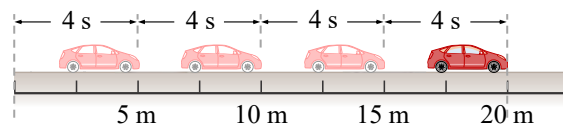
$$\text{سرعت متوسط} = \frac{\text{وکتور تغییر موقعیت}}{\text{زمان سپری شده}}, \quad \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

**نکته مهم:** واحد سرعت برابر است با فاصله تقسیم بر زمان ← مانند  $\text{m/s}$  یا  $\text{km/hr}$ . در حرکت یک بعدی وکتور سرعت با وکتور تغییر مکان هم جهت اند؛ که در دروس بعدی سرعت متوسط را دوباره مورد مطالعه قرار خواهیم کرد.

### گراف موقعیت - زمان

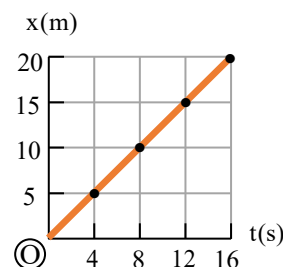
برای این که بتوانیم گراف موقعیت - زمان ( $x - t$ ) را درک کنیم؛ باید معادله حرکت را بدانیم که چطور می تواند نقش اساسی در این گراف داشته باشد؛ رابطه ریاضی بین فاصله طی شده و زمان سپری شده یک جسم متحرک را معادله حرکت همان جسم گویند که به شکل  $x = f(t)$  یا  $y = g(t)$  و یا  $z = h(t)$  نوشته می شوند و این بدان معنی است که فاصله طی شده تابع زمان است؛ که  $x$  یا  $y$  یا  $z$  را به نام تابع و  $t$  (زمان) را متحول یاد می کنیم؛ اما ما در این مبحث معادله  $x = f(t)$  را مطالعه می کنیم. و باید گفت که برای ترسیم این گراف باید متحول ( $t$ ) را روی محور افقی و ( $x$ ) را روی محور قائم مشخص می کنیم.

**مثال (4):** موتوری را در نظر بگیرید که به ترتیب در انتروال های زمانی  $t_1 = 4 \text{ s}$ ،  $t_2 = 8 \text{ s}$ ،  $t_3 = 12 \text{ s}$  و  $t_4 = 16 \text{ s}$  مطابق شکل (8.6) در موقعیت های  $x_1 = 5 \text{ m}$ ،  $x_2 = 10 \text{ m}$ ،  $x_3 = 15 \text{ m}$  و  $x_4 = 20 \text{ m}$  قرار دارد. گراف موقعیت - زمان را رسم نموده و اگر سرعت موتور در تمام اوقات ثابت باشد، معادله حرکت موتور را نیز بنویسید.



شکل

**حل:** در قدم اول باید محورات (زمان به شکل افقی و موقعیت به شکل عمودی) رسم گردند؛ و تفاضل فاصله  $5 \text{ m}$  و از زمان  $4 \text{ s}$  انتخاب می کنیم. مانند شکل (8.7). بعد نقاط تقاطع شده را با هم وصل می دهیم



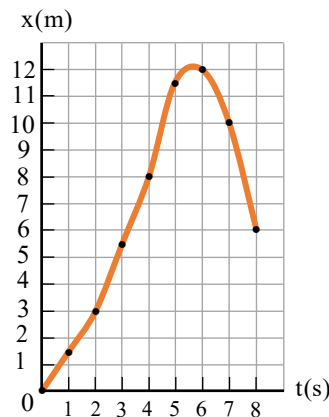
شکل

**مثال (6):** در نمودار (بالا) فاصله جسم متحرک را تا مبدأ در لحظه‌های داده شده نشان می‌دهد؛ گراف  $(x - t)$  این متحرک را رسم نمایید.

|      |   |     |   |     |   |      |    |    |   |
|------|---|-----|---|-----|---|------|----|----|---|
| t(s) | 0 | 1   | 2 | 3   | 4 | 5    | 6  | 7  | 8 |
| x(m) | 0 | 1.5 | 3 | 5.5 | 8 | 11.5 | 12 | 10 | 6 |

نمودار

**حل:** پس رسم محورات زمان و موقعیت جوره‌های مرتب داده شده را نشانی نموده و سپس این نقطه‌ها را به هم وصل می‌دهیم؛ که در نتیجه گراف  $(x - t)$  رسم می‌گردد مانند شکل (8.9)



شکل

### توجه

اگر جسم هیچ حرکی را انجام ندهد و ایستاده باشد؛ در آن صورت گراف  $(x - t)$  به شکل مستقیم موازی با محور زمان یا عمود با محور حرکت در همان فاصله که از مبدأ قرار دارد نشان داده می‌شود.

### سرعت متوسط (V)

تغییرات سرعت در فی واحد زمان بنام سرعت متوسط یاد میشود.

در شکل زیر نشان می‌دهد که وکتور در جهت محور  $x$  قرار دارد؛ مؤلفه  $x$  تغییر موقعیت همان تغییر  $x$ ،  $258 \text{ m} = (277 \text{ m} - 19 \text{ m})$ ، است که در طی انترال زمانی  $(4.0 \text{ s} - 3.0 \text{ s})$  اتفاق افتاده است. سرعت متوسط موتور را در طی این مقطع زمانی به صورت

در گراف دیده می‌شود که موتر فواصل مساوی را در اوقات مساوی طی نموده و گراف آن به شکل خط مستقیم نشان داده شده است؛ معادله حرکت آن را از رابطه ریاضی طور زیر دریافت می‌کنیم

$$x = f(t) = \left( \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \right) t = \left( \frac{10 - 5}{8 - 4} \right) t = \frac{5}{4} t = 1.25t$$

چون می‌دانستیم که  $v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$  سرعت ثابت موتر را نشان می‌دهد که به نام میل معادله حرکت یاد می‌گردد؛ پس  $x = f(t) = vt = 1.25t$  می‌باشد.

**مثال (5):** اگر معادله حرکت جسم متحرک  $x = -t^2 + 4t - 3$  در SI داده شده باشد؛ گراف  $(x - t)$  را رسم نمایید.

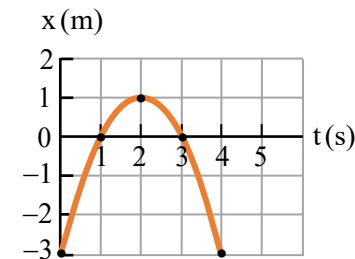
**حل:** مانند گراف توابع ریاضیکی نقاط تقاطع با محور زمان را دریاف می‌کنیم که باید  $x = 0$  گردد

$$-t^2 + 4t - 3 = 0 \Rightarrow (-t + 1)(t - 3) = 0 \Rightarrow t_1 = 1, \quad t_2 = 3$$

حالا تقاطع با محور  $x$  باید  $t = 0$  گردد

$$x = f(0) = -0^2 + 4 \cdot 0 - 3 = -3$$

گرافی که رسم می‌گردد شکل پارابولا را خواهد داشت و دهن پارابولا به سمت پایین باز است چون ضریب  $t^2$  کوچک‌تر از صفر می‌باشد؛ حال محورات را رسم می‌کنیم شکل (8.8).



شکل

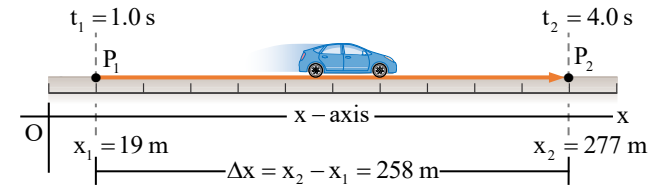
موقعیت اولی جسم متحرک روی مسیر مستقیم از مبدأ به فاصله  $3 \text{ m}$  است که پس از گذشت 1 ثانیه در مبدأ می‌رسد و تا فاصله  $1 \text{ m}$  از مبدأ فاصله می‌گیرد و دوباره از همان مسیر به سمت مبدأ عقب بر می‌گردد؛ و در ثانیه سوم به مبدأ می‌رسد و پس از گذشت 4 ثانیه از مبدأ دوباره  $3 \text{ m}$  فاصله می‌گیرد.

### توجه

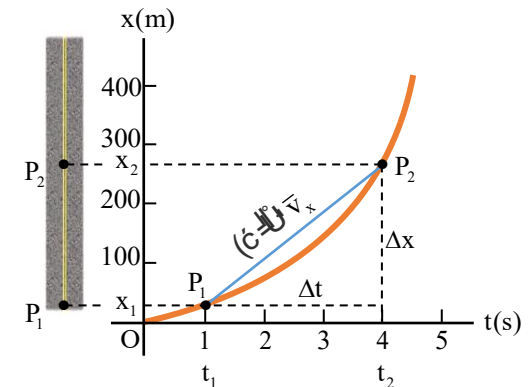
یک کمیت وکتوری تعریف می‌کنیم که مؤلفه  $x$  آن، تغییر  $x$  تقسیم بر مقطع زمانی است:  
 $(258 \text{ m}) / (3.0 \text{ s}) = 86 \text{ m/s}$

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

موتر فقط در امتداد محور  $x$  حرکت می‌کند بنابراین مؤلفه‌های  $y$  و  $z$  تغییرات موقعیت برابر با صفرند. همین‌طور مقطع زمانی  $t_1$  تا  $t_2$  برابر  $\Delta t$  است، تغییر کمیت  $t: \Delta t = t_2 - t_1$  (لحظه نهایی تفریق لحظه اولیه).



و یا در شکل زیر گراف مکان موتر بر حسب زمان، یعنی گراف  $(x - t)$ ، را نشان می‌دهد. منحنی مسیر موتر را در فضا نشان نمی‌دهد. بلکه مسیر موتر یک خط راست است؛ این گراف یک روش تصویری برای نشان دادن تغییر مکان موتر با زمان است. نقاط  $P_1$  و  $P_2$  روی گراف متناظر با نقاط  $P_1$  و  $P_2$  در مؤلفه  $x$  سرعت متوسط (که از نماد  $\bar{v}_x$  یا  $v_{av-x}$  نشان داده می‌شود) موتر با شیب خط  $P_1P_2$  (یعنی نسبت ضلع عمودی مثلث  $\Delta x$  به ضلع افقی آن  $\Delta t$ ) برابر است.



$$v_{av-x} = \bar{v}_x = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

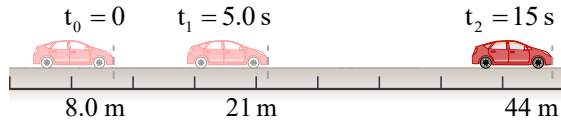
اگر  $x_2 > x_1$  یا  $\Delta x > 0$  باشد سرعت متوسط متحرک مثبت است؛ و اگر  $x_2 < x_1$  یا  $\Delta x < 0$  باشد مقدار  $\bar{v}_x$  منفی است.

**مثال (7):** در دیتای داده شده  $x_2 = 9.8 \text{ m}$ ،  $x_1 = 3.5 \text{ m}$ ،  $\Delta t = 2.0 \text{ s}$  مقدار سرعت متوسط جسم متحرک را دریابید.

**حل:** نظر به فورمول سرعت متوسط داریم که:

$$\bar{v}_x = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} = \frac{9.8 \text{ m} - 3.5 \text{ m}}{2.0 \text{ s}} = \frac{6.3 \text{ m}}{2.0 \text{ s}} = 3.6 \text{ m/s}$$

**مثال (8):** در شکل (8.12) موقعیت موتری را که در حال حرکت روی محور  $x$  است در زمان‌های متفاوت نشان داده شده است.



(الف) اندازه تغییر موقعیت را در مقطع‌های زمانی  $t_1 - t_0$  و  $t_2 - t_1$  را به دست آورید.

(ب) سرعت متوسط این موتر را در هر یک از این مقطع‌های زمانی محاسبه کنید.

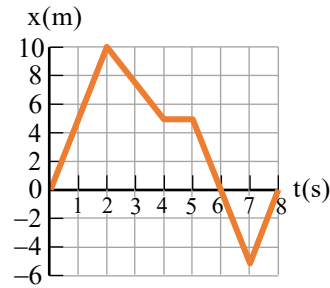
**حل:** (الف) تغییر موقعیت در انتروال زمانی  $\Delta t = t_1 - t_0 = 5.0 \text{ s}$  برابر است با  $\Delta x = x_1 - x_0 = 21 \text{ m} - 8.0 \text{ m} = 13 \text{ m}$   
 $\Delta t = t_2 - t_1 = 10 \text{ s}$  مساوی با  $x_2 - x_1 = 44 \text{ m} - 21 \text{ m} = 23 \text{ m}$

(ب) با تقسیم هر یک از فاصله‌های طی‌شده در انتروال زمانی مربوطه آن سرعت متوسط به دست می‌آید یعنی:

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{13 \text{ m}}{5.0 \text{ s}} = 2.6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{در انتروال زمانی } t_1 - t_0$$

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{23 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 2.1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{در انتروال زمانی } t_2 - t_1$$

**مثال (9):** در داخل موتر خود در یک سرک مسقیم رانندگی می‌کنید. سرعت موترتان  $43 \text{ mi/h}$  است و با این سرعت  $5.2 \text{ mi}$  را طی می‌کنید. اینجا تیل موترتان تمام می‌شود و شما ناچار



**حل:** نسبت تغییر موقعیت و زمان سپری شده سرعت متوسط تعریف می‌گردد؛ اگر تغییر موقعیت صفر باشد، پس سرعت متوسط نیز صفر است؛ سرعت متوسط هر یک از انتروال‌ها قرار زیر است

$$(الف) \quad \bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10.0 \text{ m} - 0}{2.00 \text{ s} - 0} = 5.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$(ب) \quad \bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5.00 \text{ m} - 0}{4.00 \text{ s} - 0} = 1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$(پ) \quad \bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5.00 \text{ m} - 10.0 \text{ m}}{4.00 \text{ s} - 2.00 \text{ s}} = -2.50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$(ت) \quad \bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-5.00 \text{ m} - 5.00 \text{ m}}{7.00 \text{ s} - 4.00 \text{ s}} = -3.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$(ث) \quad \bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{0 - 0}{8.00 \text{ s} - 0} = 0$$

**مثال (8.11):** معادله حرکت جسمی در سیستم SI با رابطه  $x = 2t^2 + 1$  داده شده است؛ سرعت متوسط آن را در انتروال‌های زمانی (الف) 0 تا 2.00 ثانیه، (ب) 1.00 تا 2.00 ثانیه، (پ) 1.00 تا 1.01 ثانیه دریابید.

**حل:** در قدم نخست به صورت جداگانه موقعیت جسم را در زمان‌های داده شده در تابع  $x = 1 + 2t^2$  دریافت می‌کنیم

$$f(0) = 2 \cdot 0^2 + 1 = 1.00$$

$$f(1.00) = 2 \cdot (1.00)^2 + 1 = 3.00$$

$$f(1.01) = 2 \cdot (1.01)^2 + 1 = 3.0402$$

$$f(2.00) = 2 \cdot (2.00)^2 + 1 = 9.00$$

اکنون با داشتن فورمول سرعت متوسط داریم که

می‌شوید  $1.2 \text{ mi}$  دیگر تا نزدیک‌ترین تانک تیل پیاده می‌روید و زمان این پیاده روی  $27 \text{ min}$  است. (الف) سرعت متوسط شما، از زمانی که موتور به راه افتاد تا زمانی که به تانک تیل رسیدید، چقدر است؟ (ب) گراف موقعیت - زمان  $(x - t)$  این مسیر را نشان دهید.

**حل:** (الف) برای این که سرعت متوسط را به دست بیاورید باید  $\Delta x$  یعنی کل مسافتی را که طی نموده‌اید (تغییر موقعیت شما)، و  $\Delta t$  یعنی زمان سپری شده را بدانید. این دو کمیت عبارت‌اند از

$$\Delta x = 5.2 \text{ mi} + 1.2 \text{ mi} = 6.4 \text{ mi}$$

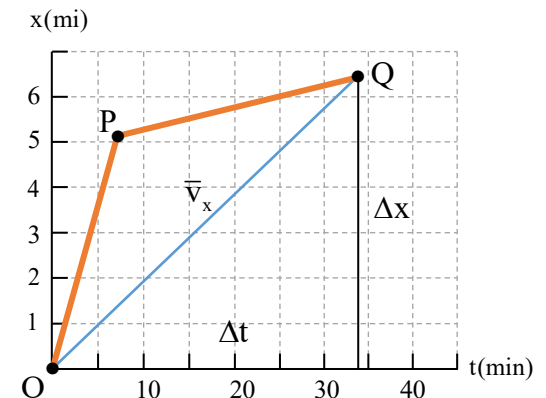
و

$$\Delta t = \frac{5.2 \text{ mi}}{43 \text{ mi/h}} + 27 \text{ min} = 34 \text{ min} = 0.57 \text{ h}$$

بنابراین، نظر با فورمول سرعت متوسط داریم که

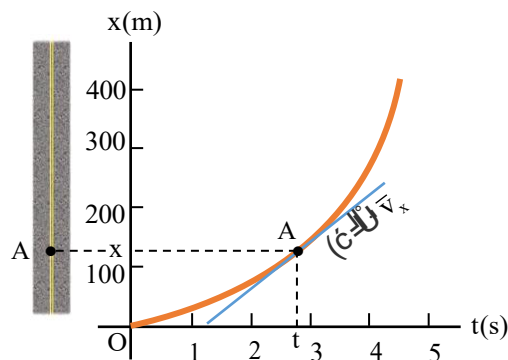
$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{6.4 \text{ mi}}{0.57 \text{ h}}$$

(ب) و با داشتن داده‌های رابطه فوقانی گراف آن را چنین رسم می‌توانیم



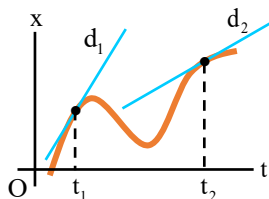
در شکل بالا خط‌های که با دایوری (OP) و پیاده‌روی (PQ) مشخص شده‌اند، حرکت با سرعت‌های ثابت و متفاوت نشان می‌دهد و سرعت متوسط، شیب خط OP است.

**مثال (10):** در شکل (8.14) یک گراف موقعیت - زمان که حرکت جسم را روی محور  $x$  نشان داده شده است. سرعت متوسط را در انتروال‌های زمانی (الف) 0 تا 2.00 ثانیه، (ب) 0 تا 4.00 ثانیه، (پ) 2.00 تا 4.00 ثانیه، (ت) 4.00 تا 7.00 ثانیه، و (ث) 0 تا 8.00 ثانیه دریابید.



$$v_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

مقطع زمانی  $\Delta t$  همیشه مثبت است بنابراین علامت الجبری  $\Delta x$  با علامت الجبری  $v_x$  یکی است.  
**مثال (12):** در شکل (8.16) مماس  $d_1$  در لحظه  $t_1$  و مماس  $d_2$  در لحظه  $t_2$  نشان داده شده اند. در کدام لحظه سرعت بیش‌تر است؟



**حل:** شیب  $d_1$  بیش‌تر از شیب  $d_2$  است و بنابراین  $v_1 > v_2$  است (سرعت در لحظه  $t_1$  بیش‌تر از سرعت در لحظه  $t_2$  است).

**مثال (13):** معادله حرکت یک جسم متحرک در SI به شکل  $x = 3t^2 + 2t + 1$  داده شده است؛ سرعت جسم متحرک را در لحظه  $t = 2.0$  s دریابید.

**حل:** برای به دست آوردن سرعت جسم در لحظه داده شده باید معادله سرعت را داشته باشیم؛ و در آن صورت پس از قیمت‌گذاری در آن معادله سرعت جسم به دست می‌آید.

$$g(t) = v_x = \frac{dx}{dt} = 6t + 2 \Rightarrow g(2.0) = 6 \cdot (2.0) + 2 = 14$$

پس سرعت جسم متحرک در زمان داده شده  $14 \text{ m/s}$  می‌باشد.

$$\text{(الف)} \quad \bar{v}_x = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{9.00 \text{ m} - 1.00 \text{ m}}{2.00 \text{ s} - 0} = 4.00 \text{ m/s}$$

$$\text{(ب)} \quad \bar{v}_x = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{9.00 \text{ m} - 3.00 \text{ m}}{2.00 \text{ s} - 1.00 \text{ s}} = 6.00 \text{ m/s}$$

$$\text{(پ)} \quad \bar{v}_x = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{3.0402 \text{ m} - 3.00 \text{ m}}{1.01 \text{ s} - 1.00 \text{ s}} = 4.02 \text{ m/s}$$

### سرعت لحظه‌ای

گاهی اوقات سرعت متوسط تمام چیزی که لازم است در مورد حرکت یک ذره بدانند، قادر نیست. برای مثال یک مسابقه بر روی خط راست واقعاً رقابتی است که می‌خواهید ببینید سرعت متوسط،  $\bar{v}_x$ ، چه کسی از همه بیش‌تر است. جایزه به شرکت‌کننده‌ی می‌رسد که بتواند جابه‌جایی  $\Delta x$  از خط شروع تا پایان را در کوتاه‌ترین مقطع زمانی  $\Delta t$  طی کند (شکل زیر)

☆ منظور از لحظه چیست؟ توجه کنید که واژه لحظه در فیزیک تعریفی تا حدی متفاوت با تعریف آن در زبان محاوره‌ی و روزمره دارد. ممکن است از عبارت "یک لحظه طول کشید" برای اشاره به چیزی که به مدت یک مقطع زمانی بسیار کوتاه طول کشیده است استفاده کنید. اما در فیزیک لحظه ابداً استمرار و مدت ندارد بلکه به یک مقدار زمانی معین اطلاق می‌شود.

برای به دست آوردن سرعت لحظه‌ی موتور در شکل زیر در نقطه  $P_1$ ، نقطه دوم  $P_2$  را به نقطه اول  $P_1$  نزدیک‌تر و نزدیک‌تر کرده و سرعت متوسط  $\bar{v}_x = \Delta x / \Delta t$  را در طی تغییر موقعیت و زمان هر چه کوتاه‌تر محاسبه می‌کنیم.  $\Delta x / \Delta t$  هر دو بسیار کوچک می‌شوند اما نسبت آن‌ها لزوماً کوچک نمی‌شوند. به زبان ریاضی، لیمیت  $\Delta x / \Delta t$  وقتی  $\Delta t$  به صفر تقرب می‌کند سرعت لحظه‌ی مشتق  $x$  نسبت به  $t$  نامیده شده و به صورت  $dx/dt$  نوشته می‌شود. و یا لیمیت سرعت متوسط وقتی که مقطع زمانی به صفر تقرب می‌کند؛ و یا در گراف داده شده مسیر حرکت موتور را نشان می‌دهد که سرعت لحظه‌ی از دید ریاضیکی با کوچک شدن تدریجی  $\Delta t$ ، سرعت متوسط به چه صورتی در می‌آید. به این منظور گراف موقعیت - زمان را در نظر بگیرید. از این گراف در می‌یابیم اگر مقطع زمانی  $\Delta t$  کوچک و کوچک‌تر شود، نقطه  $P_1$  به نقطه  $P_2$  نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود و سرانجام خط  $P_1 P_2$  در نقطه  $A$  بر گراف مماس می‌گردد. شیب خط مماس را در این حالت، سرعت لحظه‌ی جسم در لحظه  $t$  می‌نامیم.

نظر به تعریف بالای سرعت لحظه‌ی را چنین می‌نویسیم:

7. اگر در یک گراف سرعت-زمان، خط مستقیم و افقی باشد، چه چیزی را نشان می‌دهد؟
8. اگر گراف سرعت-زمان به سمت بالا صعود کند، چه مفهومی دارد؟
9. یک گراف ساده‌ی سرعت-زمان رسم کنید که حرکت یکنواخت را نشان دهد.

### ■ کاربردهای زندگی روزمره:

10. در کدام موارد روزمره از مفاهیم موقعیت و سرعت استفاده می‌کنید؟ دو مثال ذکر کنید.
11. چرا دانستن سرعت لحظه‌ای در هنگام رانندگی مهم است؟
12. هنگام رفتن از خانه تا مکتب، چگونه می‌توانید سرعت متوسط خود را حساب کنید؟

### 🔧 بخش دوم: فعالیت‌های صنفی

#### ◆ فعالیت ۱: مسابقه حرکت در خط مستقیم

- شاگردان در فضای باز یا راهرو صنف، فاصله ۱۰ متر را در خط مستقیم می‌دوند.
- یک شاگرد زمان را با ساعت اندازه می‌گیرد.
- هر شاگرد سرعت متوسط خود را محاسبه می‌کند و نتیجه با دیگران مقایسه می‌شود.

#### ◆ فعالیت ۲: رسم گراف موقعیت و سرعت

- جدول داده شده:

| موقعیت (متر) | زمان (ثانیه) |
|--------------|--------------|
| ۰            | ۰            |
| ۴            | ۲            |
| ۸            | ۴            |
| ۱۲           | ۶            |

**مثال (14):** اگر معادله حرکت یک جسم در مسیر مستقیم روی محور  $y$  به صورت  $y = \frac{1}{3}t^3 - 4t + 5$  در سیستم  $c.g.s$  داده شده باشد؛ (الف) جسم متحرک پس از گذشت 3.0 ثانیه از مبدأ کدام فاصله را دارد، (ب) سرعت آن را در ثانیه 5.0 - ام دریابید.

**حل:** می‌دانیم که مسیر مستقیم‌الخط جسم روی محور  $y$  داده شده است؛ پس برای دریافت جزء (الف) به عوض  $t$  (زمان) مقدار 3.0 ثانیه را قیمت گذاری می‌کنیم

$$y = \frac{1}{3}t^3 - 4t + 5 \Rightarrow y = \frac{1}{3}(3.0)^3 - 4(3.0) + 5 = 2.0 \text{ cm}$$

(ب) مشتق اول حرکت نظر به زمان معادله سرعت به دست می‌آید؛ پس از دریافت معادله سرعت، مقدار زمان داده شده را وضع می‌کنیم

$$y = \frac{1}{3}t^3 - 4t + 5 \Rightarrow y' = v_y = t^2 - 4$$

$$\Rightarrow v_y = (5.0)^2 - 4 = 21 \text{ cm/s}$$

### 🔥 بخش اول: سوالات تمرینی

#### ■ سوالات مفهومی:

1. حرکت یک‌بعدی چیست؟ یک مثال از آن ذکر نمایید.
2. تفاوت بین موقعیت و تغییر مکان چیست؟ با مثال توضیح دهید.
3. اگر یک نفر ۱۰۰ متر به سمت شمال حرکت کند و دوباره به نقطه آغاز برگردد، موقعیت نهایی و تغییر مکان او چند متر است؟ چرا؟

#### ■ سوالات محاسبه‌ای:

4. یک موتور در مدت ۲ ساعت، ۱۲۰ کیلومتر مسافت را طی می‌کند. سرعت متوسط آن چند است؟
5. اگر یک شاگرد در ۴ ثانیه، ۸ متر حرکت کند، سرعت متوسط او را محاسبه کنید.
6. اگر سرعت لحظه‌ای یک موتور ۶۰ کیلومتر در ساعت باشد، معنی آن چیست؟

#### ■ تحلیل گراف:

- شاگردان گراف موقعیت-زمان و سپس سرعت-زمان را رسم می کنند.
- بررسی می شود که آیا حرکت یکنواخت بوده یا نه.

### ♦ فعالیت ۳: کار گروهی - کاربرد مفاهیم در زندگی

- شاگردان به گروه تقسیم می شوند.
- هر گروه فهرستی از موارد کاربرد موقعیت، سرعت و تغییر مکان را در زندگی روزمره تهیه می کند.
- نتایج روی تخته یا کاغذ نوشتاری ارائه می شود.

### ♦ فعالیت ۴: نمایش عملی (نقش آفرینی)

- یک شاگرد نقش موتور، یکی نقش زمان گیر و دیگری نقش ثبت کننده موقعیت را بازی می کند.
  - حرکت نمایشی در صنف یا حویلی مکتب اجرا می شود.
- شاگردان دیگر سرعت متوسط و موقعیت را حساب و تحلیل می کنند

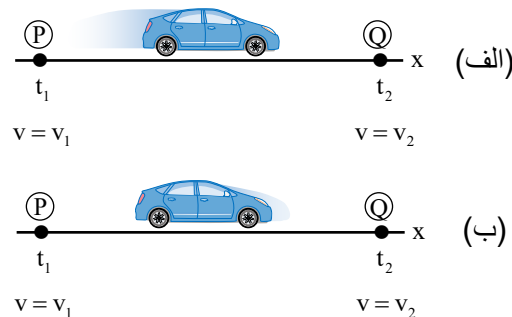
### دوره پنجم:

#### اهداف آموزشی:

- 1\_ دانش آموزان با مفاهیم اساسی موضوعات (تجیل یا شتاب، شتاب لحظه ای، گراف سرعت- زمان -  $t-v$  حرکت یکنواخت، حرکت مستقیم الخط با شتاب ثابت، معادله  $t-x$ ) در حرکت مستقیم الخط با شتاب ثابت، سقوط آزاد (مفهوم ساحة جاذبه)) آشنایی کامل دریافت کند.
- 2\_ دانش آموزان با موارد استفاده از شتاب و گراف ها آگاهی کامل کسب نمایند.
- 3\_ دانش آموزان باید با اهمیت موضوعات هذا آشنا شده و بتوانند در زندگی روزمره شان تطبیق نمایند.

### بخش اول شتاب و مفهوم آن

آیا می دانید که تعجیل یا شتاب چیست؟ زمانی که متحرک فواصل مساوی را در اوقات مساوی طی ننماید به این نوع حرکت، حرکت تعجیلی یا شتابی می گویند. هنگامی که موتوری از حالت سکون شروع به حرکت می کند، سرعت سنج موتور نشان می دهد که سرعت آن به تدریج افزایش می یابد مانند شکل زیر و همیشه  $v_2 > v_1$  بوده و شتاب آن مثبت است؛ و برعکس در هنگام برک گرفتن، سرعت آن به تدریج کاهش می یابد مانند شکل زیر و همیشه  $v_2 < v_1$  است و علامت الجبری شتاب منفی می باشد؛ در هر دو مورد فوق حرکت شتابی یا غیر یک نواخت اند؛ یا می توانیم بگوییم که سرعت، آهنگ تغییر مکان با زمان را توصیف می کند شتاب، بیان گر آهنگ تغییر سرعت با زمان است؛ شتاب هم مثل سرعت یک کمیت وکتوری است و واحد آن در سیستم SI یا M.K.S برابر با  $m/s^2$  می باشد؛ شتاب یا تعجیل را همان طور که می دانید به سمبول  $a$  نمایش داده می شود که از واژه (acceleration) گرفته شده که معنی همان شتاب یا تعجیل را می دهد.

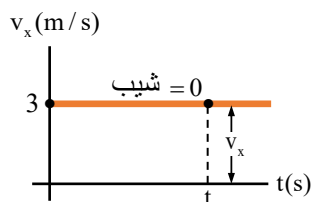


### توجه

شتاب در مقابل سرعت. باید دقت کنید که شتاب را با سرعت اشتباه نگیرید! سرعت بیان می کند که مکان جسم چگونه با زمان تغییر می کند و همین طور جسم در چه جهتی و چقدر سریع حرکت می کند؛ شتاب چگونگی تغییر سرعت با زمان را توصیف می کند و بیان می کند که تندی و جهت حرکت چگونه تغییر می کنند؛ شاید بهتر باشد این عبارت را به خاطر بسپارید که "شتاب نسبت به سرعت، مثل سرعت است نسبت به مکان". همین طور اگر خود را سوار بر جسم متحرک تصور کنید می تواند به شما کمک کند. اگر جسم رو به جلو شتاب بگیرد و تندی آن زیاد شود احساس فشار به عقب در چوکی خود به شما دست می دهد و اگر آن به سمت عقب باشد و سرعت آن کم شود حس فشار به پیش رو خواهید داشت؛ اگر سرعت ثابت باشد و شتابی نباشد حسی نخواهید داشت (در دروس بعدی خواهیم دانست).

## گراف سرعت - زمان

قبلاً گفتیم که برای گراف  $(x - t)$  معادله حرکت مهم است؛ اما اکنون برای درک بیشتر گراف سرعت - زمان  $(v - t)$  معادله سرعت مهم است؛ یا رابطه ریاضیکی بین سرعت جسم و زمان سپری شده یک جسم متحرک را معادله سرعت همان جسم یاد می کنیم که از مشتق اول حرکت این معادله حاصل می گردد؛ که به شکل  $v_x = f(t)$  سرعت روی محور  $x$ ،  $v_y = f(t)$  سرعت روی مسیر  $y$  و  $v_z = f(t)$  سرعت روی مسیر  $z$  نوشته می گردد که بیشتر با  $v_x$  و  $v_y$  سروکار خواهیم داشت و سرعت جسم همیشه تابع زمان است؛ برای کشیدن این گراف محور زمان  $(t)$  را به شکل افقی و محور سرعت  $(v_x)$  را به شکل عمودی نشان می دهیم.

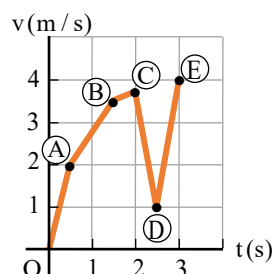


**مثال (2):** در نمودار زیر ذیل سرعت متحرکی که بر روی خط مستقیم در حرکت است؛ در چند لحظه زمانی مشخص شده است؛ گراف  $(v - t)$  را رسم نمایید.

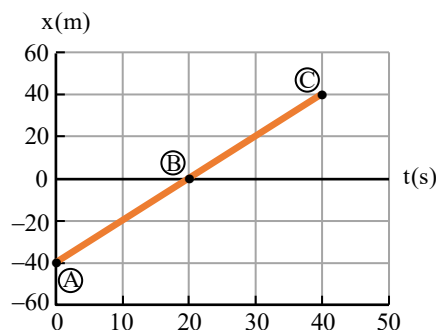
| t(s)   | 0 | 0.5 | 1.5 | 2    | 2.5 | 3 |
|--------|---|-----|-----|------|-----|---|
| v(m/s) | 0 | 2   | 3.5 | 3.75 | 1   | 4 |

نمودار

**حل:** در قدم نخست محورات زمان و سرعت را رسم می کنیم؛ و سپس جوره های مرتب داده شده را توسط نقطه نشانی کرده و این نقاط را به هم وصل می دهیم که گراف سرعت - زمان رسم می گردد مانند (شکل زیر).



**مثال (3):** در شکل (زیر) گراف موقعیت - زمان داده شده است؛ گراف سرعت - زمان آن را رسم نمایید.

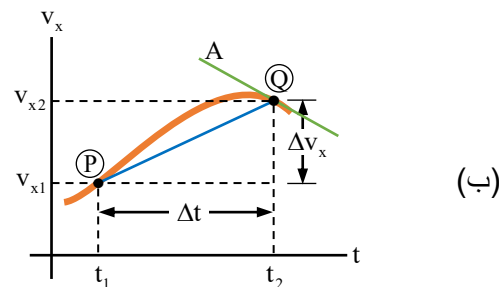
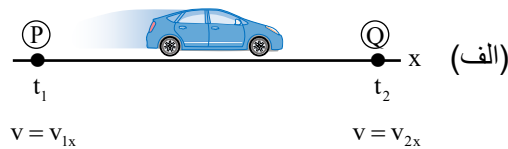


**مثال (1):** متحرکی با سرعت ثابت روی مسیر مستقیم بالای محور  $x$  در حال حرکت است؛ در لحظه  $t_1 = 4.0 \text{ s}$  از مبدأ در فاصله  $10 \text{ m}$  و در لحظه  $t_2 = 8.0 \text{ s}$  به فاصله  $22 \text{ m}$  از مبدأ قرار دارد؛ گراف سرعت - زمان  $(v - t)$  جسم متحرک را رسم نمایید.

**حل:** می دانیم که اگر جسم سرعت ثابت داشته باشد؛ پس داریم که

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{22 \text{ m} - 10 \text{ m}}{8.0 \text{ s} - 4.0 \text{ s}} = \frac{12 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}$$

چون در حرکت یک نواخت، سرعت ثابت است؛ پس نظر به قاعده ریاضیکی، تابع ثابت بوده که معادله آن روی محور  $x$  به شکل  $v_x = 3$  در سیستم بین المللی می توانیم بنویسیم؛ بناءً گراف سرعت - زمان شکل یک خط مستقیم دارای شیب صفر، را دارا اند و موازی با محور زمان یا عمود با محور سرعت است مانند شکل زیر.



$$\bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t_2 - t_1}$$

و همین قسم در تعجیل لحظه‌ی هنگامی که  $\Delta t$  بسیار کوچک و کوچک‌تر می‌شود نقطه  $P$  به نقطه  $Q$  نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود و سرانجام خط  $A$  به نقطه  $Q$  بر گراف سرعت - زمان مماس می‌گردد. شیب یا میل خط مماس بر گراف در نقطه  $Q$  را شتاب لحظه‌ی جسم در لحظه  $t_2$  می‌نامیم.

اکنون می‌توان شتاب لحظه‌ی را، مانند سرعت لحظه‌ی به طور دقیق تعریف کرد که: هنگامی که در شتاب متوسط  $\Delta t$  به سمت صفر تقرب می‌کند ( $\Delta t \rightarrow 0$ )، شتاب لحظه‌ی جسم را در لحظه  $t_2$  به دست می‌دهد. به عبارت دیگر، لیمت شتاب متوسط است هنگامی که  $\Delta t$  به سمت صفر تقرب می‌کند؛ یا به مشتق اول سرعت نسبت به زمان شتاب لحظه‌ی را تعریف می‌نماید؛ شتاب لحظه‌ی را با  $a_x$  نمایش می‌دهیم. در نتیجه داریم

$$a_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt}$$

به بیان ریاضی، شتاب لحظه‌ی مشتق دوم حرکت نسبت به زمان شتاب لحظه‌ی را تعریف می‌کند؛ یعنی

$$a_x = \frac{d}{dt} \left( \frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

از این به بعد برای اختصار شتاب لحظه‌ی را شتاب می‌نامیم.

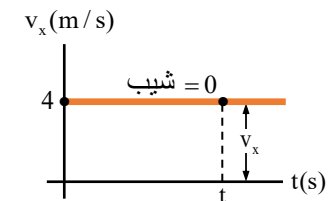
**حل:** در قدم نخست معادله حرکت جسم متحرک را دریافت می‌کنیم؛ چون جسم دارای حرکت یک‌نواخت اند؛ پس داریم که

$$v_x = \frac{x_C - x_B}{t_C - t_B} = \frac{40 \text{ m} - 0}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}} = \frac{40 \text{ m}}{10 \text{ s}} \Rightarrow v_x = 4 \text{ m/s}$$

حال می‌دانیم که فاصله اولیه جسم متحرک  $x_0 = -40 \text{ m}$  می‌باشد؛ پس در معادله حرکت یک‌نواخت  $x = v_x t + x_0$  وضع می‌کنیم

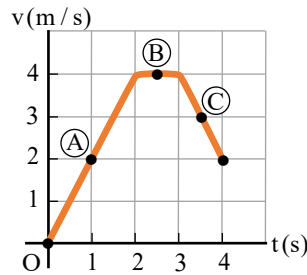
$$x = 4t - 40$$

پس از مشتق اول حرکت نظر به زمان، معادله سرعت  $v_x = 4$  به دست می‌آید؛ که گراف سرعت - زمان  $(v - t)$ ، شکل یک تابع ثابت را دارا است که با محور زمان موازی و بالای محور سرعت در نقطه  $v_x = 4$  عمود است شکل زیر.



#### شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ی

در شکل (زیر) موتوری را در نظر می‌گیریم که در امتداد محور  $x$  حرکت می‌کند؛ فرض کنید در لحظه  $t_1$  ذره در نقطه  $P$  بوده و مؤلفه  $x$  سرعت لحظه‌ی آن  $v_{1x}$  باشد و در زمان بعدی  $t_2$  در نقطه  $Q$  بوده و مؤلفه  $x$  سرعت آن  $v_{2x}$  باشد؛ بنابراین مؤلفه  $x$  سرعت در طی مقطع زمانی  $\Delta t = t_2 - t_1$  به اندازه  $\Delta v_x = v_{2x} - v_{1x}$  تغییر می‌کند؛ شتاب متوسط موتور را وقتی از  $P$  تا  $Q$  حرکت می‌کند نسبت تغییرات سرعت و مقطع زمانی به دست می‌آید و به صورت یک کمیت وکتوری نشان داده می‌شود؛ که به نام میل خط نقاط  $PQ$  در گراف سرعت - زمان است که شتاب متوسط متحرک در این مقطع زمانی می‌نامند؛ این کمیت را با  $\bar{a}_x$  یا  $a_{av-x}$  نشان می‌دهیم؛ در نتیجه داریم که



**حل:** شتاب در نقطه A مساوی به میل خط مستقیم که نقاط (0 s, 0 m/s) و (2.0 s, 4.0 m/s) با هم وصل می‌دهد:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4.0 \text{ m/s} - 0}{2.0 \text{ s} - 0} = +2.0 \text{ m/s}^2$$

شتاب در نقطه B مقدار  $\Delta v = 0$  می‌باشد؛ چون خط آن افقی است:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4.0 \text{ m/s} - 4.0 \text{ m/s}}{3.0 \text{ s} - 2.0 \text{ s}} = 0 \text{ m/s}^2$$

شتاب در نقطه C مساوی به میل خط مسقیم که از نقاط (3.0 s, 4.0 m/s) و (4.0 s, 2.0 m/s) ساخته شده است:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2.0 \text{ m/s} - 4.0 \text{ m/s}}{4.0 \text{ s} - 3.0 \text{ s}} = -2.0 \text{ m/s}^2$$

**مثال (8):** معادله سرعت متحرکی در سیستم SI روی مسیر مستقیم  $v_x = 3t^2 + 4$  می‌باشد؛ شتاب متوسط متحرک را در سه ثانیه اول حرکت با دو رقم با ارزش به دست آورید.

**حل:** سه ثانیه اول حرکت فاصله زمانی بین دو لحظه  $t_1 = 0$  و  $t_2 = 3.0$  s می‌باشد پس در قدم نخست مقدار  $v_{1x}$  و  $v_{2x}$  را داریم

$$v_{2x} = 3(3.0)^2 + 4 \Rightarrow v_{2x} = 31 \text{ m/s}$$

$$v_{1x} = 3(0)^2 + 4 \Rightarrow v_{1x} = 4.0 \text{ m/s}$$

اکنون نظر به قاعده سرعت متوسط چنین می‌نویسیم

$$\bar{a}_x = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t_2 - t_1} = \frac{(31 - 4.0) \text{ m/s}}{3.0 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{27 \text{ m/s}}{3.0 \text{ s}} = 9.0 \text{ m/s}^2$$

شتاب ممکن است، قیمت‌های مثبت، منفی و یا صفر را به خود بگیرد؛ اگر  $v_{2x} > v_{1x}$  باشد شتاب مثبت، اگر  $v_{2x} < v_{1x}$  باشد شتاب منفی و شتاب وقتی صفر می‌گردد که  $v_{2x} = v_{1x}$  گردد.

**مثال (4):** سرعت متحرکی روی محور x در لحظه  $t_1 = 13$  s برابر به  $10 \text{ m/s}$  و در لحظه  $t_2 = 23$  s برابر به  $26 \text{ m/s}$  می‌باشند؛ شتاب متوسط آن را بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  را دریابید.

**حل:** نظر به قاعده شتاب متوسط داریم که:

$$\bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t_2 - t_1} = \frac{(26 - 10) \text{ m/s}}{(23 - 13) \text{ s}} = 1.6 \text{ m/s}^2$$

**مثال (5):** روباتی در آغاز با سرعت  $2.20 \text{ m/s}$  در سالن ورودی یک خط مستقیم روی محور y حرکت می‌کند؛ سپس به مدت  $0.20 \text{ s}$  سرعتش  $4.80 \text{ m/s}$  افزایش می‌یابد؛ بزرگی یا اندازه شتاب متوسط آن را در این مقطع زمانی دریابید.

**حل:** نظر به فورمول شتاب داریم که

$$\bar{a}_y = \frac{v_{2y} - v_{1y}}{\Delta t} = \frac{(4.80 - 2.20) \text{ m/s}}{0.20 \text{ s}} = \frac{2.60 \text{ m/s}}{0.20 \text{ s}} = 13 \text{ m/s}^2$$

**مثال (6):** موتوری با سرعت  $20.0 \text{ m/s}$  روی محور x در حال حرکت است؛ ناگهان راننده برک می‌کند و در  $4.2 \text{ s}$  موترا در یک خط مستقیم متوقف می‌کند؛ بزرگی شتاب متوسط آن چقدر است.

**حل:** توجه نمایید که سرعت نهایی صفر است در این جا سرعت اولیه بزرگتر از سرعت نهایی است؛ پس  $v_{2x} < v_{1x}$  می‌باشد بنابراین انتظار می‌رود که شتاب منفی باشد.

$$\bar{a}_x = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{\Delta t} = \frac{0 - 20.0 \text{ m/s}}{4.2 \text{ s}} = -4.76 \text{ m/s}^2$$

**مثال (7):** در شکل (8.25) سرعت یک توپ بیسبال روی خط مستقیم را در مقطع‌های زمانی نشان داده شده است؛ سرعت لحظه‌ای آن را در نقاط A، B و C را دریابید.

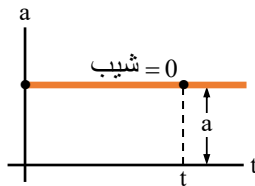
حل: (الف) از فورمول شتاب متوسط  $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  داریم که:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{(16 - 6) \text{ m/s}}{(12 - 8) \text{ s}} = \frac{10 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = 2.5 \text{ m/s}^2$$

(ب) در گراف اگر خط مستقیم را در نقاط  $A$  و  $B$  به صورت مماس در گراف  $(v - t)$  رسم نماییم واضح است که شیب یا میل آن نقطه  $A$  بیش‌تر از نقطه  $B$  می‌گردد؛ پس شتاب لحظه‌ای نقطه  $A$  بیش‌تر نقطه  $B$  می‌باشد؛ یعنی:  $a_A > a_B$ .

### حرکت با شتاب ثابت

بعضی اوقات ضرورت بر این می‌افتد که شتاب جسم متحرک در راستای خط مستقیم ثابت باشد؛ این نوع حرکت مهم اند چون این نوع حرکات در طبیعت زیاد می‌باشد؛ مثلاً اگر یک جسم به صورت آزاد به طرف زمین سقوط نماید (اگر مقاومت هوا ناچیز باشد) گراف شتاب - زمان مقدار شتاب ثابت را نشان می‌دهد؛ مانند شکل (8.27).



وقتی که جسم متحرک دارای شتاب ثابت باشد؛ شتاب لحظه‌ای آن تمام نقاط داخل یک انتروال زمانی با شتاب متوسط آن در هر مقطع زمانی مساوی می‌باشد. در نتیجه سرعت جسم در حال کاهش و یا در حال افزودن باشد مقدار یکسان در تمام مسیر حرکت می‌باشد. اکنون ما می‌توانیم بنویسیم  $\bar{a} = a$  و داریم

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

اگر در رابطه بالا  $t_1 = 0$  و  $t_2$  را همین قسم به  $t$ ، همچنین  $v_1 = v_0$  (سرعت اولیه در  $t = 0$ ) و  $v_2 = v$  نشان داده شود؛ شتاب جسم را چنین می‌نویسیم

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad \vee \quad v = v_0 + at$$

مقدار سرعت جسم متحرک در رابطه بالا بستگی به سرعت اولیه، شتاب و زمان دارد؛ برای خوبتر دانستن این موضوع در شکل دارای شتاب ثابت توضیح گردیده شده است.

مثال (9): معادله حرکت جسم در  $SI$  به صورت  $z = 2t^2 - 3t$  داده شده است؛ شتاب متحرک را در دو رقم با معنی بنویسید.

حل: می‌دانیم که مشتق دو فاصله نظر به زمان شتاب است و در تمام معادله‌های حرکت درجه 2 شتاب ثابت می‌باشد (در تمام مقطع زمانی با هم مساوی است).

$$z = 2t^2 - 3t \Rightarrow v_z = z' = 4t - 3 \\ \Rightarrow a_z = v_z' = z'' = 4.0 \text{ m/s}^2$$

مثال (10): معادله مکان متحرک در  $SI$  به صورت  $x = t^3 - 2t^2 + 5t$  داده شده است؛ شتاب متوسط آن را در لحظه‌های  $t_1 = 2.0 \text{ s}$  و  $t_2 = 3.0 \text{ s}$  چند  $\text{m/s}^2$  است.

حل: برای دریافت شتاب متوسط آن نیاز به معادله سرعت آن داریم که پس از مشتق اول حرکت نظر به زمان به دست می‌آید یعنی:

$$x = t^3 - 2t^2 + 5t \Rightarrow v_x = x' = 3t^2 - 4t + 5$$

حالا در آن مقطع زمانی داده شده مقدار  $v_{1x}$  و  $v_{2x}$  را داریم

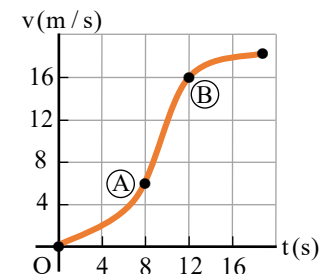
$$v_{2x} = 3(3.0)^2 - 4(3.0) + 5 \Rightarrow v_{2x} = 20 \text{ m/s}$$

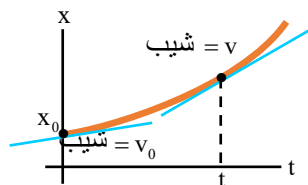
$$v_{1x} = 3(2.0)^2 - 4(2.0) + 5 \Rightarrow v_{1x} = 9.0 \text{ m/s}$$

اکنون نظر به فورمول شتاب متوسط داریم که:

$$\bar{a}_x = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t_2 - t_1} = \frac{(20 - 9.0) \text{ m/s}}{(3.0 - 2.0) \text{ s}} = 11 \text{ m/s}^2$$

مثال (11): در شکل زیر گراف  $(v - t)$  یک متحرک را نشان می‌دهد؛ (الف) شتاب متوسط آن را در نقاط  $A$  و  $B$  در یابید. (ب) نو بگویید که شتاب لحظه‌ای در کدام دو نقطه بیش‌تر است.





اگر بخواهیم رابطه بین حرکت و سرعت را به دست آوریم؛ از رابطه  $v = at + v_0$  زمان را بدست آورده و در این معادله  $(x - t)$  دهیم، در نتیجه رابطه بین موقعیت و سرعت را بدست خواهیم آورد که مستقل از زمان می باشد؛ یعنی

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v + v_0) \left( \frac{v - v_0}{a} \right) = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

پس از ساده سازی این رابطه با داشتن شتاب ثابت داریم که:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

این رابطه را به نام معادله سرعت نظر به تغییر فاصله نیز یاد می کند.

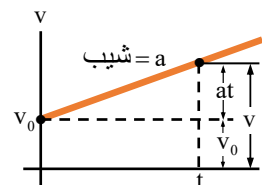
بعضی وقت ها ضرورت بر این می افتد که فاصله طی شده در ثانیه  $n$ -ام را بدانیم که همان فاصله طی شده در جریان همان ثانیه است؛ اولاً فاصله طی شده پس از  $n$  ثانیه از مبدا را دریافت نموده و بعداً این فاصله را از فاصله طی شده در ثانیه  $(n - 1)$ -ام از مبدا، تفریق می کنیم؛ فاصله طی شده در ثانیه  $n$ -ام به دست می آید. یعنی

$$\Delta x_n = \frac{1}{2}a(t_n^2 - t_{n-1}^2) + v_0 = \frac{1}{2}a(2t_n - 1) + v_0$$

**مثال (12):** متحرکی با شتاب ثابت  $4.0 \text{ m/s}^2$  در مدت  $2.0$  ثانیه در یک مسیر مستقیم  $20 \text{ m}$  تغییر مکان می کند؛ سرعت اولیه آن چند متر در ثانیه است.

**حل:** با داشتن معادله حرکت داریم

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{1}{2}at^2 + v_0t \Rightarrow 20 = \frac{1}{2}(4.0)(2.0)^2 + v_0(2.0) \\ &\Rightarrow (2.0)v_0 = 20 - 8.0 \Rightarrow v_0 = 6.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$



در حرکتی که دارای شتاب ثابت و سرعت جسم متحرک در حال کاهش یا افزود باشد؛ ما می توانیم سرعت متوسط را در یک مقطع زمانی نصف مجموع سرعت اولیه  $v_0$  و سرعت نهایی  $v$  بنویسیم، داریم که

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2}$$

حال می توانیم برای دریافت معادله تغییر موقعیت، با داشتن سرعت متوسط (اگر  $t_1 = 0$  و  $t_2 = t$  و همین قسم  $x_1 = x_0$  و  $x_2 = x$  تعویض گردد) چنین بنویسیم

$$\frac{x - x_0}{t} = \frac{v + v_0}{2} \Rightarrow \frac{\Delta x}{t} = \frac{v + v_0}{2} \Rightarrow \Delta x = \left( \frac{v + v_0}{2} \right) t$$

یا به شکل ساده آن با داشتن شتاب ثابت داریم که:

$$\Delta x = \frac{1}{2}t(v + v_0)$$

ما می توانیم این معادله را بیش تر انکشاف دهیم؛ چون  $v = at + v_0$  می باشد پس می توانیم چنین بنویسیم

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_0 + at + v_0)t \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{2}(2v_0 + at)t$$

پس از ساده سازی معادله تغییر موقعیت را چنین بیان می کنیم

$$\Delta x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

این رابطه را می توانیم به شکل زیر توضیح خوب تر دهیم که جسم متحرک با تغییرات موقعیت  $\Delta x = x - x_0$  اگر موقعیت نهایی جسم از مبدا  $x$  باشد.

**مثال (13):** جسم با سرعت اولیه  $2.0 \text{ m/s}$  و شتاب ثابت  $0.50 \text{ m/s}^2$  از مکان  $x_0 - 3.0 \text{ m}$  روی محور  $x$  در جهت مثبت به حرکت آغاز می‌کند؛ این جسم پس از  $6.0$  ثانیه در چند متری مبدأ مکان خواهد بود.

**حل:** در معادله حرکت وضع می‌کنیم اگر  $\Delta x = x - x_0$  باشد.

$$x - x_0 = \frac{1}{2}at^2 + v_0t$$

$$\Rightarrow x - (-3.0) = \frac{1}{2}(0.50)(6.0)^2 + (2.0)(6.0) \Rightarrow x = 18 \text{ m}$$

**مثال (14):** متحرک بدن سرعت اولیه با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از  $10$  ثانیه سرعت آن به  $18 \text{ km/h}$  می‌رسد؛ این متحرک پس از چند ثانیه سرعتش به  $72 \text{ km/h}$  می‌رسد.

**حل:** از رابطه  $v = v_0 + at$  داریم که:

$$v = v_0 + at \Rightarrow \begin{cases} 18 \text{ km/h} = (10 \text{ s}) a & \dots (i) \\ 72 \text{ km/h} = a \cdot t & \dots (ii) \end{cases}$$

حال نسبت رابطه  $(i)$  و  $(ii)$  را دریافت می‌کنیم و داریم

$$\frac{18}{72} = \frac{(10 \text{ s}) a}{a \cdot t} \Rightarrow t = \frac{720}{18} \text{ s} \Rightarrow t = 40 \text{ s}$$

**مثال (15):** متحرکی با شتاب ثابت روی محور  $x$  در حرکت است؛ اگر سرعت این متحرک در مدت  $15$  دقیقه از  $60 \text{ km/h}$  به  $140 \text{ km/h}$  برسد؛ سرعت متحرک در این مدت چقدر فاصله را طی کرده است.

**حل:** می‌دانیم که  $\Delta t = 15 \text{ min} = \frac{1}{4} \text{ h}$  می‌باشد؛ پس در معادله حرکت داریم

$$\Delta x = \left( \frac{v+v_0}{2} \right) \Delta t = \left( \frac{140+60}{2} \right) \cdot \frac{1}{4} \Rightarrow \Delta x = 25 \text{ km}$$

**مثال (16):** متحرک از حالت سکون با شتاب  $10 \text{ m/s}^2$  شروع به حرکت می‌کند؛ مسافت پیموده‌شده در ثانیه چهارم چند متر است.

**حل:** چون متحرک از مبدأ شروع به حرکت نموده پس  $v_0 = 0$  است؛ نظر به فورمول فاصله طی‌شده در ثانیه  $n$ -ام داریم که:

$$\Delta x_n = \frac{1}{2}a(2t_n - 1) + v_0 = \frac{1}{2} \cdot 10(2 \cdot 4 - 1) = 35 \text{ m}$$

**مثال (17):** اگر معادله حرکت جسم در  $SI$  به صورت  $x = -2t^2 + 8t$  باشد؛ این جسم پس از طی چند متر متوقف خواهد شد.

**حل:** می‌دانیم که جسم وقتی متوقف می‌گردد که  $v = 0$  گردد یعنی

$$v_{(t)} = x'_{(t)} \Rightarrow v = at + v_0 = -4t + 8 \Rightarrow t = 2.0 \text{ s}$$

دریافت نمودیم که جسم متحرک پس از  $2.0 \text{ s}$  متوقف می‌گردد؛ پس فاصله که در این مدت زمان طی نموده است داریم که

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t = \frac{1}{2}(-4)(2.0)^2 + 8(2.0) = 8.0 \text{ m}$$

جسم پس از  $x = 8.0 \text{ m}$  متوقف می‌گردد.

**مثال (18):** موتوری با سرعت  $20 \text{ m/s}$  در یک خط راست در حال حرکت است و ناگهان مانعی را در مقابل خود می‌بیند؛ که در همان لحظه با شتاب  $-5 \text{ m/s}^2$  برک می‌کند؛ معلوم کنید متحرک پس از چند ثانیه می‌ایستد.

**حل:** دیده می‌شود که  $v_0 = 20 \text{ m/s}$ ،  $v = 0$  و  $a = -5.0 \text{ m/s}^2$  می‌باشد؛ در قدم نخست فاصله که این جسم طی می‌کند را دریافت می‌کنیم

$$v^2 = v_0^2 + 2ax \Rightarrow 0 = (20)^2 + 2(-5.0)x \Rightarrow x = 40 \text{ m}$$

و حالا زمان توقف را از رابطه  $v = v_0 + at$  محاسبه می‌کنیم

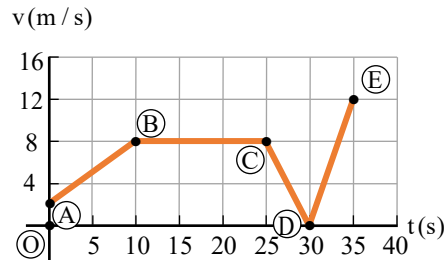
$$0 = v_0 + at \Rightarrow (-20) = (-5.0)t \Rightarrow t = 4.0 \text{ s}$$

**مثال (19):** موتوری در یک مسیر مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از  $20$  ثانیه سرعتش به  $36 \text{ km/h}$  می‌رسد؛ سپس با همین سرعت به مدت  $10$  ثانیه به حرکتش ادامه می‌دهد و پس از آن با شتاب ثابت برک می‌کند و بعد به مدت  $5.0$  ثانیه متوقف می‌شود؛ (الف) مقدار فاصله طی شده در جریان همین حرکت چه مقدار است. (ب) گراف  $(v - t)$  از لحظه شروع حرکت تا لحظه توقف موتور را رسم کنید.

**حل:** در قدم اول تمام دیتاهای داده شده را در یک سیستم تبدیل می‌کنیم؛ و می‌دانیم که  $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$  است و بعد شتاب جسم متحرک را در تمام نقاط مسیر باید بدانیم

$$a_1 = \frac{v-v_0}{t} = \frac{10 \text{ m/s}-0}{20 \text{ s}} = +0.50 \text{ m/s}^2$$

**مثال (20):** در شکل (زیر) گراف  $(v - t)$  متحرکی در 35 ثانیه نشان داده شده است؛ (الف) شتاب هر یک از مرحله‌های  $AB$ ،  $BC$ ،  $CD$  و  $DE$  چقدر است، (ب) مقدار فاصله طی شده جسم متحرک را در این طول مسیر دریابید.



**حل:** اولاً نوعیت حرکت را در تمام مرحله‌ها مشخص می‌کنیم که جسم با سرعت اولیه  $2.0 \text{ m/s}$  شروع به حرکت نموده و با شتاب ثابت (مثبت) در ظرف 10 ثانیه تا به نقطه  $B$  سرعت خویش را به  $8.0 \text{ m/s}$  می‌رساند؛ سپس حرکت یک‌نواخت به مدت 15 ثانیه را اختیار می‌کند که شتاب آن صفر است از نقطه  $B$  تا  $C$  می‌باشد؛ بعد از پس از گذشت 25 ثانیه از مبدأ زمان، متحرک حرکت کندشونده (شتاب منفی) داشته سرعت خود را کاهش می‌دهد، و در مدت 5.0 ثانیه به صفر می‌رساند؛ و در آخر دوباره به مدت 5.0 ثانیه سرعت خویش را به  $12 \text{ m/s}$  می‌رساند، که در این حالت حرکت شتابی (مثبت) دارد.

(الف) اگر بخواهیم که شتاب هریک از مرحله‌ها را دریافت نماییم کافیهست که میل آن خطوط را بدانیم که نمایانگر شتاب می‌باشد داریم که

$$a_{AB} = \frac{v_B - v_A}{t_B - t_A} = \frac{(8.0 - 0.0) \text{ m/s}}{(10 - 0) \text{ s}} = +0.60 \text{ m/s}^2$$

$$a_{BC} = \frac{v_C - v_B}{t_C - t_B} = \frac{(8.0 - 8.0) \text{ m/s}}{(25 - 10) \text{ s}} = 0$$

$$a_{CD} = \frac{v_D - v_C}{t_D - t_C} = \frac{(0 - 8.0) \text{ m/s}}{(30 - 25) \text{ s}} = -1.6 \text{ m/s}^2$$

$$a_{DE} = \frac{v_E - v_D}{t_E - t_D} = \frac{(12 - 0) \text{ m/s}}{(35 - 30) \text{ s}} = +2.4 \text{ m/s}^2$$

(ب) باز هم مقدار فاصله طی شده بسته‌گی به نوعیت حرکت دارد در قدم اول فاصله هر یک مرحله‌های داده شده را جداگانه دریافت می‌کنیم؛ داریم

$$x_{AB} = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = (2.0)(10) + \frac{1}{2} (0.60)(10)^2 = 50 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{10 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}}{10 \text{ min}}$$

$$a_3 = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 10 \text{ m/s}}{5.0 \text{ s}} = \frac{-10 \text{ m/s}}{5.0 \text{ s}} = -2.0 \text{ m/s}^2$$

(الف) برای دریافت مقدار فاصله طی شده، مانند شتاب (مسیر حرکت جسم را در سه بخش تقسیم می‌کنیم). اول با شتاب ثابت (مثبت) از حالت سکون شروع به حرکت نموده، در مرحله دوم با سرعت ثابت (شتاب صفر) فاصله‌ی را طی می‌کند؛ و در آخر این که با شتاب ثابت (منفی) جسم توقف می‌کند؛ که این سه مسیر طی شده‌ی جسم را قرار زیر می‌نویسیم.

$$x_1 = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} (0.50 \text{ m/s})(20 \text{ s})^2 = 1.0 \times 10^2 \text{ m}$$

$$x_2 = v t = (10 \text{ m/s})(10 \text{ s}) = 1.0 \times 10^2 \text{ m}$$

$$x_3 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = (10 \text{ m/s})(5 \text{ s}) + \frac{1}{2} (-2.0 \text{ m/s})(5.0 \text{ s})$$

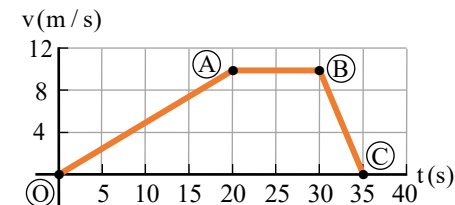
$$\Rightarrow x_3 = 50 \text{ m} - 5.0 \text{ m} = 45 \text{ m}$$

حال با یک‌جا نمودن تمام فاصله‌های به دست آمده، مسیر کل جسم متحرک بر روی خط مستقیم به دست می‌آید

$$\Sigma x = x_1 + x_2 + x_3 = (1.0 \times 10^2 \text{ m}) + (1.0 \times 10^2 \text{ m}) + (45 \text{ m})$$

$$= 245 \text{ m}$$

(ب) در گراف  $(v - t)$  دیده می‌شود؛ خطی که از نقاط  $O$  و  $A$  ساخته شده دارای میل مثبت و شتاب آن نیز مثبت و خط  $AB$  دارای شیب صفر (شتاب صفر) و خط  $BC$  دارای شیب منفی (شتاب منفی) می‌باشد؛ شکل (زیر).



اندازه این شتاب در نزدیکی سطح زمین نزدیک به  $9.80 \text{ m/s}^2$  است؛ اما گاهی برای سهولت محاسبه  $g = 10.0 \text{ m/s}^2$  فرض می‌شود؛ همان معادله‌های که با شتاب ثابت مطالعه گردیدند، عین فورمول در سقوط آزاد نیز می‌باشند فقط با  $v_0 = 0$  و  $x_0 = 0$  در یک حالت خاص در نظر گرفته می‌شوند، در سقوط آزاد تغییر مکان در امتداد قائم است، و موقعیت متحرک به طور معمول با  $y$  نشان داده می‌شود و مبدأ حرکت نقطه‌ای است که سقوط از آن شروع می‌شود؛ اگر جهت مثبت را به طرف پایین اختیار کنیم، پس در معادله‌های حرکت  $\Delta y = v_{0y}t + \frac{1}{2}gt^2$  و سرعت  $v_y = gt + v_{0y}$  اگر  $v_{0y} = 0$  گردد پس

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2 \quad \wedge \quad t = \sqrt{\frac{2\Delta y}{g}}$$

$$v_y = gt \quad \wedge \quad t = \sqrt{\frac{2\Delta y}{g}}$$

**مثال (21):** اگر جسم از ارتفاع  $4.9 \text{ m}$  سقوط آزاد نماید؛ معلوم نمایید که پس از چند ثانیه به زمین می‌رسد.

**حل:** جسم وقتی که سقوط آزاد نماید بدون سرعت اولیه ( $v_0 = 0$ ) می‌باشد؛ پس معادله حرکت  $\Delta y = \frac{1}{2}gt^2$  بوده و زمانی که این جسم در جهت قائم می‌انجامد قرار ذیل محاسبه می‌کنیم

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow 4.9\text{m} = \frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2) \cdot t^2 \Rightarrow t = 1.0 \text{ s}$$

**مثال (22):** اگر جسمی بدون سرعت اولیه به مدت  $3.0$  ثانیه در شرایط خلا سقوط کند، در ثانیه سوم تقریباً چند متر فاصله را می‌پیماید.

**حل:** فاصله که جسم در ثانیه سوم طی می‌کند، را داریم

$$\Delta y = \frac{1}{2}g(2t_n - 1) = \frac{9.8}{2}[2(3.0) - 1] = 24.5 \text{ m}$$

**مثال (23):** جسمی را در شرایط خلا از یک بلندی رها می‌کنیم، طوری که با سرعت  $30.0 \text{ m/s}$  به زمین برخورد می‌کند؛ ارتفاع بلندی چند متر است، در صورتی که  $g = 10.0 \text{ m/s}^2$  فرض گردد.

**حل:** با توجه بر این که جسم بدون سرعت اولیه است داریم که

$$x_{BC} = vt = (8.0 \text{ m/s})(15 \text{ s}) = 120 \text{ m}$$

$$x_{CD} = v_0t + \frac{1}{2}at^2 = (8.0)(5.0) + \frac{1}{2}(-1.6)(5.0)^2 = 20 \text{ m}$$

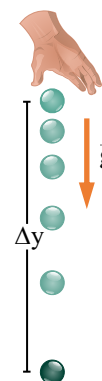
$$x_{DE} = v_0t + \frac{1}{2}at^2 = (0)(5.0) + \frac{1}{2}(2.4)(5.0)^2 = 30 \text{ m}$$

در قدم آخر تمام فاصله‌های بدست آمده را با هم جمع می‌کنیم

$$\sum x = x_{AB} + x_{BC} + x_{CD} + x_{DE} = 220 \text{ m}$$

### سقوط آزاد اجسام

سقوط آزاد نمونه طبیعی حرکت با شتاب ثابت است؛ در این نوع حرکت، مسیر حرکت مستقیم است و در هنگام سقوط یگانه قوه وارده بر جسم همانا وزن آن است؛ اگر یک سکه و یک ورق کاغذ را از ارتفاع معین رها کنیم، به طور هم‌زمان به زمین نمی‌رسند، چون مقاومت هوا مانع بالای ورق کاغذ بیشتر می‌باشد؛ اما اگر همین تجربه را در یک محوطه خلا انجام دهیم، سکه و ورق کاغذ هم‌زمان به زمین می‌رسند؛ مثلاً سقوط یک جسم در خلا و یا سقوط گلوله کوچک فلزی در هوا را (تقریب مناسب) می‌توان فرض کرد؛ شکل (زیر) حرکت یک ساچمه را هنگام سقوط آزاد نشان می‌دهد که در وقفه‌های زمانی متوالی  $\Delta t = 1/15 \text{ s}$  از آن عکس برداری شده است.



بنابراین اگر از مقاومت هوا صرف نظر کنیم، تمام اجسام در نزدیکی سطح زمین تقریباً با شتاب ثابت سقوط می‌کند، که این همان شتاب جاذبه زمین است با حرف  $g$  نمایش داده می‌شود؛ حرکت مستقیم‌الخط با شتاب  $g$  را سقوط آزاد می‌نامند، که جهت این شتاب همیشه به طرف پایین (مرکز زمین) است؛ اندازه شتاب  $g$  برحسب عرض البلد جغرافیایی، اندکی تغییر می‌کند و با افزایش ارتفاع از سطح زمین کاهش می‌یابد.

اکنون با انکشاف رابطه  $(t_1 - 1)^2$  داریم که

$$\frac{1}{2}gt_1^2 - \frac{1}{2}gt_1^2 + gt_1 - \frac{1}{2}g = 45 \text{ m} \Rightarrow 10t_1 = 50 \Rightarrow t_1 = 5.0 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \Delta y = \frac{1}{2}gt_1^2 \Rightarrow \Delta y = \frac{1}{2}(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(5.0 \text{ s})^2 = 122.5 \text{ m}$$

**مثال (25):** از ارتفاع 80.0 متری سطح زمین گلوله‌ی با سرعت اولیه  $v_0 = 30.0 \text{ m/s}$  در امتداد قائم به سمت پایین پرتاب می‌شود و هم‌زمان گلوله‌ی دیگری از ارتفاع  $h$  بدون سرعت اولیه سقوط می‌کند هر دو گلوله هم‌زمان به زمین می‌رسند؛ اگر  $g = 10.0 \text{ m/s}^2$  و مقاومت هوا ناچیز باشد،  $h$  چند متر است.

**حل:** چون دو گلوله هم‌زمان پرتاب شده و هم‌زمان به زمین رسیده اند مدت زمان حرکت آن‌ها با هم یکسان اند؛ از این رو زمان گلوله اول را محاسبه کرده داریم که

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t \Rightarrow 80.0 \text{ m} = \frac{1}{2}(10.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})t^2 + (30.0 \frac{\text{m}}{\text{s}})t$$

$$\Rightarrow t = 2.00 \text{ s}$$

حال گذاشتن زمان را در گلوله دوم که سقوط آزاد نموده است داریم

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}(10.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(2.00 \text{ s})^2 = 20.0 \text{ m}$$

**مثال (26):** از نقطه به ارتفاع 20.0 m از سطح زمین گلوله‌ی در شرایط خلا بدون سرعت اولیه رها می‌شود؛ پس از 1.00 ثانیه گلوله دیگری از همان نقطه با سرعت اولیه  $v_0$  پرتاب می‌شود؛ هر دو گلوله با هم به زمین می‌رسند؛ سرعت اولیه گلوله‌ی دوم چند متر بر ثانیه است.

**حل:** اگر زمان حرکت گلوله اول  $t_1$  باشد، زمان حرکت گلوله دوم  $t_2 = t_1 - 1.00 \text{ s}$  است؛ لذا معادله تغییر مکان هر یک را نوشته پس از آن سرعت اولیه گلوله دوم را به دست می‌آوریم داریم که

$$\Delta y_1 = \frac{1}{2}gt_1^2 + v_0t \Rightarrow 20.0 \text{ m} = \frac{1}{2}(10.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})t_1^2 + 0 \cdot t_1$$

$$\Rightarrow 20.0 \text{ m} = (5.00 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})t_1^2 \Rightarrow t_1 = 2.00 \text{ s}$$

و زمان حرکت گلوله دوم در این حالت 1.00 ثانیه است یعنی

$$t_2 = t_1 - 1.00 \text{ s} = 2.00 \text{ s} - 1.00 \text{ s} = 1.00 \text{ s}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2g\Delta y \Rightarrow (30.0 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - 0^2 = 2(10.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot \Delta y$$

$$\Rightarrow 9.00 \times 10^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = (20.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot \Delta y \Rightarrow \Delta y = 45.0 \text{ m}$$

**مثال (24):** عمقی چاهی  $3.20 \times 10^2 \text{ m}$  است، سنگی را با کدام سرعت اولیه به چاه بی‌اندازیم، تا صدای برخورد سنگ را به قاعده چاه پس از 5.00 s بشنویم؛ در صورتی که  $g = 10.0 \text{ m/s}^2$ ، سرعت صوت  $3.20 \times 10^2 \text{ m/s}$  و مقاومت هوا ناچیز باشد.

**حل:** مدت زمانی که سنگ به ته چاه می‌رسد با  $t_1$  و مدت زمانی را که صدای برخورد آن از ته چاه به گوش شنونده برسد با  $t_2$  می‌دهیم؛ با توجه به این که صوت با سرعت  $3.20 \times 10^2 \text{ m/s}$  عمق  $3.20 \times 10^2 \text{ m/s}$  را در مدت 1.00 s طی می‌کند یعنی

$$y = v_y t_2 \Rightarrow 3.20 \times 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = (3.20 \times 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}) t_2 \Rightarrow t_2 = 1.00 \text{ s}$$

زمان کلی  $t = t_1 + t_2$  می‌باشد؛ پس زمان  $t_1$  قرار زیر است

$$5.00 \text{ s} = t_1 + 1.00 \text{ s} \Rightarrow t_1 = 4.00 \text{ s}$$

اکنون می‌توانیم سرعت اولیه را قرار رابطه‌های زیر محاسبه کنیم

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt_1^2 + v_0t_1$$

$$\Rightarrow 3.20 \times 10^2 \text{ m} = \frac{1}{2}(10.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(4.00 \text{ s})^2 + v_0(4.00 \text{ s})$$

$$\Rightarrow 3.20 \times 10^2 \text{ m} = 80.0 \text{ m} + v_0(4.00 \text{ s}) \Rightarrow v_0 = 60.0 \text{ m/s}$$

**مثال (25):** دو گلوله به فاصله زمانی 1.0 ثانیه از بالای برجی به ارتفاع  $y$  در شرایط خلا رها می‌شود اگر بیش‌ترین فاصله بین آن‌ها در طول حرکت 45 m باشد؛ ارتفاع این برج چند متر می‌باشد.

**حل:** بیش‌ترین فاصله بین دو گلوله زمانی رخ می‌دهد که یکی از آن‌ها به مقصد رسیده باشد؛ لذا در ابتدا معادله تغییر مکان هر یک را نوشته، سپس تفاوت آن‌ها را برابر 45 m قرار می‌دهیم؛ اگر زمان حرکت گلوله اول  $t_1$  باشد، زمان دومی  $t_2 = t_1 - 1.0 \text{ s}$  خواهد بود؛ لذا داریم که

$$\begin{cases} \Delta y_1 = \frac{1}{2}gt_1^2 \\ \Delta y_2 = \frac{1}{2}g(t_1 - 1)^2 \end{cases} \Rightarrow \Delta y_1 - \Delta y_2 = \frac{1}{2}gt_1^2 - \frac{1}{2}g(t_1 - 1)^2$$

برای تعیین سرعت اولیه گلوله داریم

$$\Delta y_2 = \frac{1}{2} g t_2^2 + v_0 t$$

$$\Rightarrow 20.0 \text{ m} = \frac{1}{2} (10.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) (1.00 \text{ s})^2 + v_0 (1.00 \text{ s})$$

$$\Rightarrow 20.0 \text{ m} = 5.00 \text{ m} + v_0 \Rightarrow v_0 = 15.0 \text{ m/s}$$

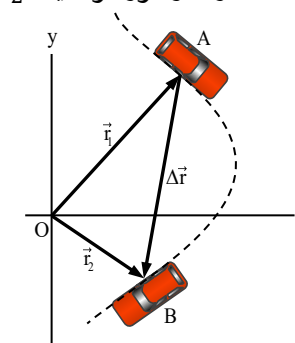
**دوره ششم:**

**اهداف آموزشی:**

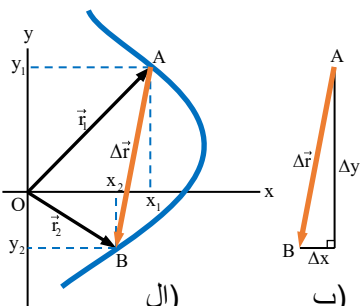
- 1\_ دانش آموزان با مفاهیم اساسی موضوعات (حرکت های دو بعدی، تغییر مکان و سرعت متوسط، سرعت لحظه ای، شتاب متوسط و شتاب لحظه ای، حرکت های پرتابی، پرتاب افقی، پرتاب مایل) آشنایی کامل دریافت کند.
- 2\_ دانش آموزان با موارد استفاده از حرکت های دو بعدی و حرکت های پرتابی آگاهی کامل کسب نمایند.
- 3\_ دانش آموزان باید با اهمیت موضوعات هذا آشنا شده و بتوانند در زندگی روزمره شان تطبیق نمایند.

**بخش اول: وکتور مکان (موقعیت) و وکتور تغییر مکان**

یک موتر که در سطح  $xoy$  در مقطع زمانی  $\Delta t$  تغییر موقعیت نماید؛ این موتر در نقطه  $A$  وکتور موقعیت  $r_1$  و در نقطه  $B$  دارای وکتور موقعیت  $r_2$  می باشد؛ شکل (زیر).



وکتور مکان موتر وکتوری است که مبدأ را به مکان متحرک وصل می کند، که به  $\vec{r}$  نشان می دهیم، اگر اندازه مؤلفه های وکتور  $\vec{r}$  را بروی محورهای دستگاه مختصات نشان دهیم، وکتور مکان جسم را می توان چنین تعریف کرد.



$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} = f(t)\vec{i} + g(t)\vec{j}, \quad |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

وکتورهای  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  را به نام وکتورهای واحد یاد می کنند، که وکتور  $\vec{i}$  روی محور  $x$  و  $\vec{j}$  روی محور  $y$  قرار دارند، در (شکل زیر) بخش الف وکتور موقعیت  $\vec{r}_1$  جسم را در نقطه  $A$  و وکتور موقعیت  $\vec{r}_2$  جسم را در نقطه  $B$  نشان می دهند. که مؤلفه های هر دو وکتور را چنین می نویسیم

$$\vec{r}_1 = x_1\vec{i} + y_1\vec{j}, \quad \vec{r}_2 = x_2\vec{i} + y_2\vec{j}$$

حالا فرض کنید (شکل 9.2) بخش الف جسم از نقطه  $A$  (مکان  $\vec{r}_1$ ) به نقطه  $B$  (مکان  $\vec{r}_2$ ) انتقال می کند، در این صورت وکتور تغییر مکان (موقعیت) وکتوری است که از نقطه  $A$  به نقطه  $B$  ترسیم می شود، (شکل 9.2) بخش ب وکتور تغییر مکان را به  $\Delta\vec{r}$  نشان داده و چنین محاسبه می کنیم.

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} - (x_1\vec{i} + y_1\vec{j}) = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j}$$

$$\Delta r = (\Delta x)\vec{i} + (\Delta y)\vec{j}, \quad |\Delta r| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

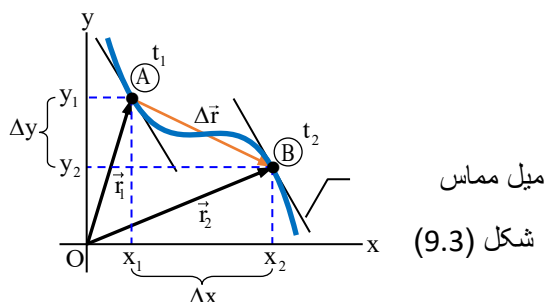
**مثال (9.1):** اگر جسمی از مکان  $\vec{r}_1 = 2\vec{i} + 3\vec{j}$  به مکان  $\vec{r}_2 = -\vec{i} + 7\vec{j}$  منتقل شده باشد، اندازه تغییر مکان متحرک را در SI دریابید؟

**حل:**

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = -\vec{i} + 7\vec{j} - (2\vec{i} + 3\vec{j}) = -3\vec{i} + 4\vec{j}$$

$$\Rightarrow |\Delta\vec{r}| = \sqrt{(-3)^2 + 4^2} \text{ m} = 5 \text{ m}$$

**مثال:** موقعیت متحرکی در دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  به ترتیب  $\vec{r}_1$  و  $\vec{r}_2$  است، اگر اندازه های هریک از وکتورها به ترتیب  $6 \text{ m}$  و  $8 \text{ m}$  باشد، اندازه تغییر مکان بین این دو لحظه چقدر است در صورتی که زاویه بین وکتور موقعیت ها  $90^\circ$  باشد؟



**حل:** گفته می‌توانیم، که وکتور تغییر موقعیت یعنی  $\Delta \vec{r}$  عبارت از وتر مثلث قائم‌الزاویه است، که اضلاع آن  $6m$  و  $8m$  است، پس داریم که:

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{\vec{r}_1^2 + \vec{r}_2^2} = \sqrt{6^2 + 8^2}m = \sqrt{100}m = 10m$$

**مثال:** متحرک از نقطه  $A(8, -6)$  به نقطه  $B(-7, 2)$  منتقل شده است، تغییر مکان متحرک را از نقطه  $A$  تا  $B$  را در SI حساب کنید؟  
**حل:**

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ = \sqrt{(-7 - 8)^2 + (2 + 6)^2} = \sqrt{225 + 64} = \sqrt{289} \Rightarrow |\Delta \vec{r}| = 17m$$

**مثال:** وکتور تغییر مکان خرگوش را در انتروال  $[1s, 4s]$  با معادلات حرکت  $x = 3t^2 + 2t$  و  $y = 2t^2 - 4t$  دریابید؟  
**حل:**

$$f(t) = x = 3t^2 + 2t, f(4) = 3(4)^2 + 2(4) = 56, f(1) = 5 \\ g(t) = y = 2t^2 - 4t, g(4) = 2(4)^2 - 4(4) = 16, g(1) = -2 \\ \Delta x = f(4) - f(1) = 56 - 5 = 51, \Delta y = g(4) - g(1) = 16 + 2 = 18 \\ \Delta \vec{r} = \Delta x \vec{i} + \Delta y \vec{j} = 51\vec{i} + 18\vec{j}$$

**سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای**

**تعریف 1.** اگر جسم متحرک از نقطه  $A$  تا به نقطه  $B$  در مدت  $\Delta t$  تغییر مکان نماید، (شکل 9.3). پس نسبت تغییر مکان و زمان سرعت متوسط را تعریف می‌کنند، پس داریم که:

$$\bar{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \vec{j} = \bar{v}_x \vec{i} + \bar{v}_y \vec{j}$$

**تعریف 2.** لیمت سرعت متوسط وقتی که  $\Delta t$  به طرف صفر تقرب کند، یعنی وقتی که  $\Delta t$  به صفر نزدیک شود، وکتور سرعت لحظه‌ای بر مسیر حرکت در همان نقطه مماس خواهد شد، (شکل 9.3). و یا سرعت لحظه‌ای مشتق وکتور مکان جسم نسبت به زمان است، که به زبان ریاضیکی چنین تعریف می‌گردد.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}$$

**مثال:** موتوری که در یک سطح افقی  $xoy$  حرکت می‌کند، معادله‌های حرکت آن در سیستم SI به صورت  $x = 6t + 5$  و  $y = 4t^2$  است، اندازه سرعت موتور را در  $t = 1s$  دریابید؟  
**حل:** در پرسش فوقانی یک زمان مشخص را تعیین نموده است، باید سرعت لحظه‌ای را محاسبه کنیم، پس داریم که:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 6 \Rightarrow v_x(1s) = 6m/s, v_y = \frac{dy}{dt} = 8t \Rightarrow v_y(1s) = 8m/s \\ |v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{100} = 10 \Rightarrow v = 10m/s$$

**مثال:** معادله حرکت یک جسم در SI به ترتیب  $x = 2t^2$  و  $y = 4t$  داده شده است، وکتور سرعت متوسط آن را در وقفه زمانی  $t_1 = 4s$  و  $t_2 = 8s$  تعیین کند.  
**حل:**

$$f(t) = x = 2t^2, f(4) = 2(4)^2 = 32, f(8) = 2(8)^2 = 128 \\ g(t) = y = 4t, g(4) = 4(4) = 16, g(8) = 4(8) = 32 \\ \Delta x = f(8) - f(4) = 128 - 32 = 96 \\ \Delta y = g(8) - g(4) = 32 - 16 = 16 \\ \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \vec{j} = \frac{96}{4} \vec{i} + \frac{16}{4} \vec{j} = 24\vec{i} + 4\vec{j}$$

**مثال:** وکتور موقعیت نقطه مادی در SI به شکل  $\vec{r} = (3t^2 - 2)\vec{i} + (t^2 + 3t)\vec{j}$  داده شده است، وکتور سرعت را بعد از  $2s$  حساب کنید؟  
**حل:**

$$g(t) = \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = (6t)\vec{i} + (2t + 3)\vec{j} \Rightarrow g(2) = 12\vec{i} + 7\vec{j}$$

**مثال:** وکتور موقعیت نقطه مادی در SI به صورت  $\vec{r} = (t^2 + 4t)\vec{i} + (3t)\vec{j}$  داده شده است، اندازه وکتور سرعت را بعد از 3 ثانیه تعیین کنید؟

حل:

$$g(t) = \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = (2t + 4)\vec{i} + (3)\vec{j}$$

$$g(3) = \vec{v} = 10\vec{i} + 3\vec{j}, \quad |\vec{v}| = \sqrt{10^2 + 3^2} = \sqrt{109} \text{ m/s}$$

**مثال:** معادلات حرکت یک جسم در SI به صورت  $x = 10t$  و  $y = -2t^2$  است، سرعت متوسط این متحرک در 3 ثانیه دوم حرکت چه اندازه است؟

**حل:** سه ثانیه دوم حرکت، انتروال زمانی بین 3 تا 6 ثانیه می باشد، که تغییر مکان بین این دو لحظه قرار ذیل محاسبه می گردد.

$$f(t) = x = 10t, f(6) = 10(6) = 60, f(3) = 10(3) = 30$$

$$g(t) = y = -2t^2, g(6) = -2(6)^2 = -72, g(3) = -2(3)^2 = -18$$

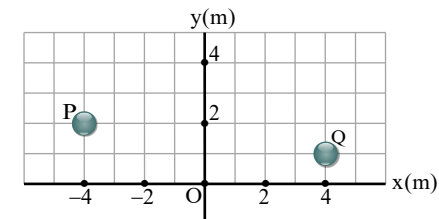
$$\Delta x = f(6) - f(3) = 60 - 30 = 30$$

$$\Delta y = g(6) - g(3) = -72 + 18 = -54$$

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \vec{j} = \frac{30}{3} \vec{i} - \frac{54}{3} \vec{j} = 10\vec{i} - 18\vec{j}$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{10^2 + (-18)^2} = \sqrt{100 + 324} \Rightarrow |\vec{v}| \approx 20.6 \text{ m/s}$$

**مثال:** یک جسم روی صفحه  $xoy$  از نقطه  $P(-4, 2)$  به نقطه  $Q(4, 1)$  در مدت 4 ثانیه انتقال می یابد، (شکل 9.4). مقدار سرعت متوسط جسم متحرک را در این زمان محاسبه کنید؟



شکل

حل:

$$P(x_1, y_1) = P(-4, 2), Q(x_2, y_2) = Q(4, 1)$$

$$\vec{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \vec{j} = \frac{4 - (-4)}{4} \vec{i} + \frac{1 - 2}{4} \vec{j} = 2\vec{i} - \frac{1}{4}\vec{j}$$

$$\Rightarrow |\vec{v}| = \sqrt{2^2 + \left(-\frac{1}{4}\right)^2} = \sqrt{4 + \frac{1}{16}} = \frac{1}{4}\sqrt{65} \Rightarrow |\vec{v}| \approx 2 \text{ m/s}$$

شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

**تعریف 1:** اگر وکتور سرعت متحرک تغییر کند، آن حرکت را شتاب‌دار گویند، این تغییر می‌تواند در اندازه وکتور سرعت و یا جهت آن باشد، وکتور شتاب متوسط به صورت نسبت تغییر وکتور سرعت و زمان این تغییر سرعت تعریف می‌گردد، شتاب متوسط و وکتور آن را چنین نشان می‌دهیم.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \vec{j} = \vec{a}_x \vec{i} + \vec{a}_y \vec{j}, \quad |\vec{a}| = \sqrt{\vec{a}_x^2 + \vec{a}_y^2}$$

**تعریف 2:** شتاب لحظه‌ای برابر با لیمت شتاب متوسط در زمانی بی‌نهایت کوچک، به سمت آن میل کند، یعنی شتاب لحظه‌ای برابر با مشتق وکتور سرعت نسبت به زمان است، به زبان ریاضیکی طور ذیل نشان می‌دهیم.

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{d\vec{r}}{dt} \right) = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} = \vec{a}_x \vec{i} + \vec{a}_y \vec{j}$$

جهت شتاب متوسط ( $\vec{a}$ ) فقط با تغییرات سرعت ( $\Delta \vec{v}$ ) هم‌جهت اند، اما در حرکت روی مسیر منحنی هیچ‌وقت وکتور شتاب متوسط با وکتورهای  $\vec{v}_1$  و  $\vec{v}_2$  هم‌جهت نیستند و وقتی که  $\Delta t$  به طرف صفر تقرب کند وکتورهای  $\vec{v}_1$  و  $\vec{v}_2$  بسیار نزدیک می‌شود، باز هم شتاب لحظه‌ای با سرعت لحظه‌ای هم‌جهت نخواهد بود و باید گفت که در حرکت دارای سرعت ثابت روی مسیر منحنی وقتی که  $\Delta t$  به طرف صفر تقرب کند،  $\Delta \vec{v}$  بر  $\vec{v}$  عمود است.

**مثال:** معادله حرکت دو بُعدی جسمی در SI به صورت ذیل است:  $\begin{cases} x = 20t^2 \\ y = -5t^3 \end{cases}$ ، وکتورهای

سرعت و شتاب آن را در  $t = 1s$  به دست آورید، و بگویید که آیا این دو وکتور هم‌جهت اند؟  
**حل:** برای تعیین وکتور سرعت، در مرحله نخست مرکب‌های  $v_x$  و  $v_y$  را در  $t = 1s$  دریافت می‌کنیم.

$$x' = v_x = \frac{dx}{dt} = 40t \Rightarrow v_x(1) = 40 \frac{m}{s}$$

$$y' = v_y = \frac{dy}{dt} = -15t^2 \Rightarrow v_y(1) = -15 \frac{m}{s}$$

در نتیجه وکتور سرعت لحظه‌ای در  $t = 1s$  چنین می‌نویسیم.

$$\vec{v} = 40\vec{i} - 15\vec{j}$$

برای تعیین وکتور شتاب نیز ابتدا مرکب‌های شتاب یعنی  $a_x$  و  $a_y$  را به دست می‌آوریم. داریم که:

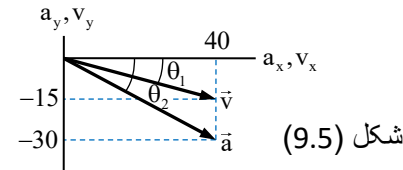
$$(v_x)' = a_x = \frac{dv_x}{dt} = 40 \Rightarrow a_x(1) = 40 \frac{m}{s^2}$$

$$(v_y)' = a_y = \frac{dv_y}{dt} = -30t \Rightarrow a_y(1) = -30 \frac{m}{s^2}$$

و وکتور شتاب را در  $t = 1s$  چنین خواهد بود.

$$\vec{a} = 40\vec{i} - 30\vec{j}$$

وکتورهای  $\vec{a}$  و  $\vec{v}$  در زمان  $t = 1s$  می‌توان فهمید که این دو وکتور با هم موازی نیستند، (شکل 9.5).



شکل (9.5)

**مثال:** معادلات حرکت ذره‌ی در SI روی صفحه‌ی  $xoy$  به صورت  $x = t^3$  و  $y = t^3$  است، در کدام فاصله از مبدأ اندازه‌ی شتاب متحرک  $12\sqrt{2}m/s^2$  می‌رسد؟

**حل:**

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 3t^2 \Rightarrow a_x = \frac{dv_x}{dt} = 6t$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = 3t^2 \Rightarrow a_y = \frac{dv_y}{dt} = 6t$$

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \Rightarrow 12\sqrt{2} = \sqrt{36t^2 + 36t^2} \Rightarrow t = 2s$$

$$x(2) = y(2) = (2)^3 = 8 \Rightarrow |r| = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{8^2 + 8^2} = 8\sqrt{2}m$$

### حرکت پرتابی (Projectile Motion)

حرکت پرتابی نوعی از حرکت دو بُعدی که با شتاب ثابت است، برای مطالعه و تحلیل حرکت‌های دو بُعدی در مرحله‌ی نخست باید سه فرضیه‌ی ذیل را در نظر بگیریم.

**الف:** شتاب جاذبه‌ی ( $g$ )، در محدوده‌ی حرکت جسم ثابت و جهت‌شان به طرف پایین است، که شتاب مؤلفه‌ی افقی ندارد.

**ب:** از تأثیر مقاومت هوا می‌توان صرف نظر کرد.

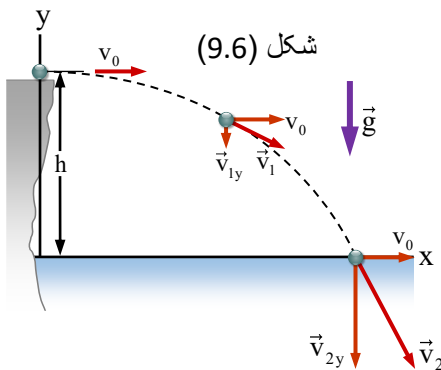
**ج:** چرخش زمین بر روی این حرکت تأثیری ندارد.

یکی از اصطلاحاتی که در حرکت‌های پرتابی با آن زیاد سروکار داریم عبارت از جسم پرتاب شده است. جسم پرتاب شده عبارت از جسمی است که در آغاز با سرعت اولیه‌ی پرتاب و یا بر اثر ضربه در جهتی به حرکت در آید و سپس تحت تأثیر قوه‌ی جاذبه، حرکت شتاب‌دار (حد اقل در یکی از محورهای کمیات وضعیه) داشته باشد. مرمی که از تفنگ خارج می‌شود، سنگی که با یک زاویه پرتاب می‌شود، جریان آبی که از سوراخی فوران می‌کند، همه‌گی مثال‌های از حرکت پرتابی هستند که مسیر پارابول شکل را در فضا می‌پیمایند. که اثبات فورمول‌ها و مسایل آن توسط

قواعد ریاضیکی آسان‌تر می‌گردد. که در این بخش دو پرتاب دیگر (پرتاب افقی و پرتاب مایل) را مطالعه می‌کنیم.

### پرتاب افقی و مایل (Lateral and Inclined Projectile)

**تعریف 1.** هرگاه جسمی را ارتفاع  $h$  و یا فاصله‌ی  $y$  تحت زاویه‌ی صفر درجه با جهت محور مثبت  $x$  یا موازی به محور  $x$  با سرعت اولیه  $v_0$  پرتاب گردد، چنین پرتاب را پرتاب افقی یاد می‌کنیم، جسم پرتاب‌شده به حرکت خود به صورت افقی ادامه نمی‌تواند، بلکه آهسته آهسته به طرف پایین کشانیده می‌شود، (شکل 9.6). که بالاخره به زمین تصادم می‌کند و باید گفت که حرکت جسم روی محور  $x$  یک‌نواخت دارای سرعت  $v_0$  و به امتداد محور  $y$  تعجیلی می‌باشد، که سرعت آن در این محور رو به افزایش است.



شکل (9.6)

که معادلات حرکت، سرعت و مسیر حرکت آن طور ذیل نشان داده می‌توانیم.

$$x = v_0 t \Rightarrow \frac{dx}{dt} = v_x = v_0$$

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow \frac{dy}{dt} = v_y = gt$$

اگر از معادله‌ی حرکت روی محور  $x$  مقدار زمان  $t = \frac{x}{v_0}$  را در معادله‌ی حرکت روی محور  $y$  وضع گردد، معادله‌ی مسیر حرکت را چنین می‌توان نوشت.

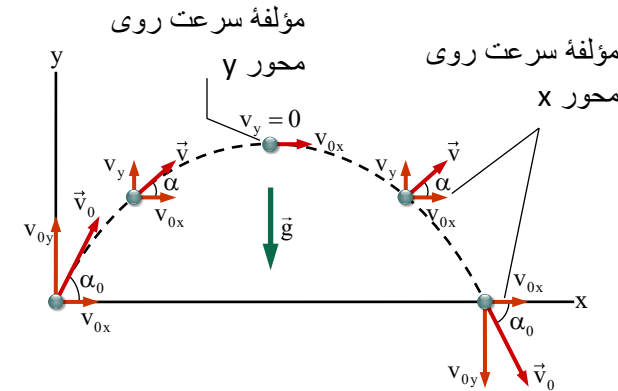
$$y = \frac{g}{2v_0^2}x^2 = cx^2, \frac{g}{2v_0^2} = cost$$

و باید گفت که زمان رسیدن جسم به زمین برای همیشه با زمان سقوط آزاد برابر است، که توسط

$$رابطه‌ی t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \text{ محاسبه می‌شود.}$$

**تعریف 2.** اگر موقعیت جسم را در مبدأ سیستم کمیات وضعیه قایم در نظر بگیریم یعنی  $x_0 = y_0 = 0$  و  $t_0 = 0$ ، تحت زاویه‌ی  $\alpha_0$  روی صفحه‌ی  $xoy$  پرتاب گردد، (شکل 9.7)، طوری که

جسم پرتاب شده روی محور x حرکت یک نواخت ( $a_x = 0$ ) و روی محور y حرکت تعجیلی ( $a_y = -g$ ) را داشته باشد (شکل 9.7).



معادله حرکت، سرعت، و مسیر حرکت جسم پرتاب شده و همین طور زمان رسیدن جسم به نقطه اوج، زمان کلی پرتاب، ارتفاع نقطه اوج و بُرد اعظمی و یا رنج پرتاب جسم را طور ذیل محاسبه می کنیم

$$x = v_{0x}t = v_0 \cos \alpha_0 t$$

$$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 = v_0 \sin \alpha_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\frac{dx}{dt} = v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha_0$$

$$\frac{dy}{dt} = v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha_0 - gt$$

اگر مقدار زمان را از معادله حرکت (مسیر x) را در معادله حرکت (مسیر y) بگذاریم، در نتیجه معادله مسیر حرکت را چنین می نویسیم.

$$\Delta y = \tan \alpha_0 x - \frac{gx^2}{2(v_{0x})^2} = \tan \alpha_0 x - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0}$$

جسم پرتاب شده وقتی که به نقطه اوج می رسد،  $v_y = 0$  می گردد، پس زمان رسیدن جسم به نقطه اوج را از معادله سرعت روی مسیر y طور ذیل دریافت می کنیم

$$v_y = v_0 \sin \alpha_0 - gt \Rightarrow 0 = v_0 \sin \alpha_0 - gt$$

$$\Rightarrow gt = v_0 \sin \alpha_0 \Rightarrow t = \frac{v_0 \sin \alpha_0}{g}$$

و اکنون زمان کلی فقط با 2 چند شدن زمان رسیدن جسم به نقطه اوج به دست می آید، اگر زمان کلی را به T نشان بدهیم داریم که:

$$T = 2t = \frac{2v_0 \sin \alpha_0}{g}$$

می دانیم که فاصله افقی جسم پرتاب شده دارای زمان 2t است، پس با قرار دادن زمان کلی پرتاب را در معادله حرکت روی مسیر x فاصله افقی جسم پرتاب شده که به نام رنج (Rang) نیز یاد می کند، به دست می آید، بیش ترین بُرد پرتاب افقی تحت زاویه 45° صورت می گیرد.

$$x = v_0 \cos \alpha_0 t = v_0 \cos \alpha_0 \left( \frac{2v_0 \sin \alpha_0}{g} \right) \Rightarrow R = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

و در آخر ارتفاع نقطه اوج را محاسبه می کنیم، وقتی که جسم به نقطه اوج می رسد  $v_y = 0$  می گردد، پس داریم که:

$$v_y^2 - v_{0y}^2 = -2gh \Rightarrow 0 - v_{0y}^2 = -2gh \Rightarrow h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

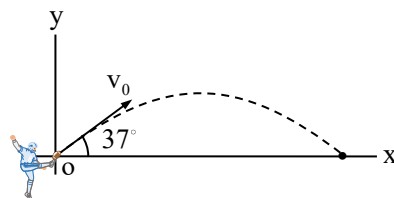
**مثال:** جسمی از بالای قله کوهی که به ارتفاع 180m از سطح زمین فاصله دارد با سرعت 50m/s به صورت افقی پرتاب می گردد، زمان رسیدن به نقطه سقوط آن و سرعت برخورد جسم به زمین را دریابید؟  
**حل:**

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 180m}{10m/s^2}} = \sqrt{36s^2} = 6sec$$

$$v_x = \cos t = 50 \frac{m}{s} \quad v_y = gt, \quad |v_x| = 10 \frac{m}{s^2} \cdot 6s = 60 \frac{m}{s}$$

$$v = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}, \quad |v| = \sqrt{50^2 + 60^2} \frac{m}{s} \approx 78.1m/s$$

**مثال:** یک بازیکن فوتبال، توپی را تحت زاویه 37° نسبت به افق با سرعت اولیه 10m/s، شوت می کند، با فرض این که توپ در صفحه xoy حرکت کند و مقاومت هوا ناچیز باشد، (شکل زیر).



الف: زمان رسیدن جسم به نقطهٔ اوج را به دست آورید؟  
 ب: بگویید که پس از چه زمانی توپ به زمین بر می‌گردد؟  
**حل:**

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha_0}{g} = \frac{10 \frac{m}{s} \cdot \sin 37^\circ}{9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 0.6s$$

$$T = 2t = \frac{2v_0 \sin \alpha_0}{g} = \frac{2 \cdot 10 \frac{m}{s} \cdot \sin 37^\circ}{9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 1.2s$$

**مثال:** گالیله در یکی از کتاب‌های خود نوشته است که برای زاویه‌های پرتابی که به یک اندازه از زاویه‌ی  $45^\circ$  بیش‌تر یا کم‌تر اند، بُردها مساوی اند، درستی این گفته را اثبات کنید.  
**حل:** نظر به رابطهٔ فوقانی شکل (زیر) را رسم می‌کنیم.

$x_5$

و اکنون بُرد پرتاب را داریم که:

$$\alpha_0 = 45^\circ - 15^\circ = 30^\circ \Rightarrow R_1 = \frac{v_0^2 \sin(2 \cdot 30^\circ)}{g} = \frac{\sqrt{3}v_0^2}{2g}$$

$$\alpha_0 = 45^\circ + 15^\circ = 60^\circ \Rightarrow R_2 = \frac{v_0^2 \sin(2 \cdot 60^\circ)}{g} = \frac{\sqrt{3}v_0^2}{2g}$$

حالا دریافتیم که  $R_1 = R_2$  می‌باشد.

### چگونگی تجزیه نیرو

1. تعیین محورها: ابتدا باید دو محور عمود بر هم را برای تجزیه نیرو انتخاب کنید. معمولاً این محورها صفحه افقی (محور X) و صفحه قائم (محور Y) هستند.
2. رسم مؤلفه‌ها: نیروی اصلی را به صورت یک بردار رسم کنید.
3. استفاده از روابط مثلثاتی:

• مؤلفه افقی (Fx) برابر است با نیروی اصلی (F) ضربدر کسینوس زاویه ( $\theta$ ) بین بردار نیرو و محور افقی:

$$F_x = F \cos(\theta)$$

• مؤلفه عمودی (Fy) برابر است با نیروی اصلی (F) ضربدر سینوس زاویه ( $\theta$ ) بین بردار نیرو و محور افقی:

$$F_y = F \sin(\theta)$$

### نکات مهم

#### زاویه مجاور محور:

محور یا جهتی که زاویه با آن تشکیل شده است، در محاسبه مؤلفه ضرب در کسینوس می‌شود.

#### هدف تجزیه:

هدف از تجزیه نیرو، ساده‌سازی تحلیل مسائل فیزیکی با تفکیک نیرو به مؤلفه‌های مستقل و قابل محاسبه است.

#### بردار ی بودن نیرو:

نیرو به دلیل داشتن هم مقدار و هم جهت، یک بردار است و بنابراین می‌توان آن را به بردارهای مؤلفه تجزیه کرد.

### دوره هفتم:

#### اهداف آموزشی:

1. حرکت دایره ای
2. سرعت زاویه پی
3. سرعت زاویه پی لحظه پی
4. حرکت دایره پی یکنواخت،
5. پریود،
6. فریکونسی،
7. سرعت خطی در حرکت دایره پی
8. شتاب در حرکت دایره پی یکنواخت
9. دینامیک حرکت دایره پی یکنواخت.

### واحدهای اندازه‌گیری:

سرعت زاویه‌ای معمولاً بر حسب رادیان بر ثانیه (rad/s) اندازه‌گیری می‌شود، اما واحدهای دیگری مانند درجه بر ثانیه (deg/s) نیز کاربرد دارند.

### فرمول محاسبه:

فرمول محاسبه سرعت زاویه‌ای به صورت زیر است:

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t$$

که در آن :

- $\Omega$  (امگا) سرعت زاویه‌ای است.
- $\Delta\theta$  (دلتا تتا) تغییر زاویه بر حسب رادیان است.
- $\Delta t$  (دلتا تی) تغییر زمان بر حسب ثانیه است.

### نکات مهم:

- سرعت زاویه‌ای یک کمیت برداری است و جهت آن عمود بر صفحه چرخش است.
- جهت سرعت زاویه‌ای با استفاده از قانون دست راست تعیین می‌شود.
- در فیزیک، معمولاً از رادیان بر ثانیه به عنوان واحد سرعت زاویه‌ای استفاده می‌شود.
- سرعت زاویه‌ای می‌تواند با سرعت خطی یک جسم در حال چرخش مرتبط باشد.

### ✓ کاربردها:

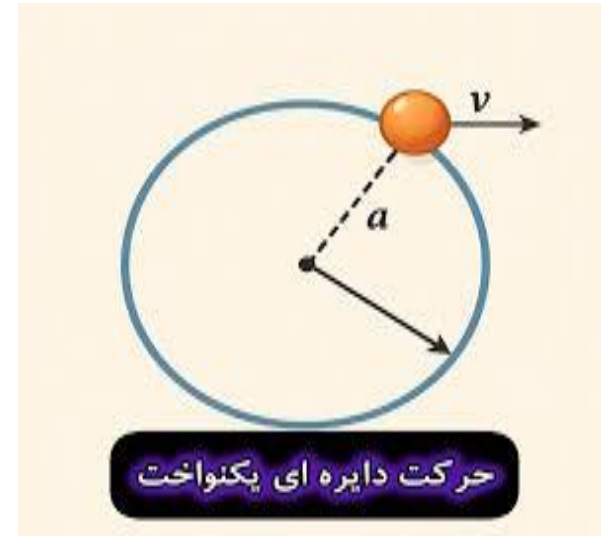
سرعت زاویه‌ای در بسیاری از زمینه‌ها از جمله مکانیک، فیزیک، مهندسی و نجوم کاربرد دارد. به عنوان مثال، در محاسبه حرکت سیارات، سرعت چرخش موتورها و سرعت چرخش چرخ‌ها از سرعت زاویه‌ای استفاده می‌شود.

**مثال:-** زاویه پیموده شده در حرکت دایروی  $\pi$  rad در زمان 6sec سرعت زاویه آن را در یافت کنید؟

**حل:**

$$\theta = \pi = 180$$

$$t = 6\text{sec}$$



### 1. حرکت دایره ای

✓ حرکت دایره‌ای به حرکت یک جسم در طول یک مسیر دایره‌ای یا منحنی اطلاق می‌شود. این نوع حرکت می‌تواند یکنواخت (با سرعت ثابت) یا غیریکنواخت (با سرعت متغیر) باشد. در حرکت دایره‌ای یکنواخت، جسم با سرعت ثابت حرکت می‌کند اما جهت سرعت دائماً در حال تغییر است. این تغییر جهت سرعت باعث ایجاد شتابی به نام شتاب مرکزگرا می‌شود که به سمت مرکز دایره است.

### :- سرعت زاویه پی .

سرعت زاویه ای به انگلیسی Angular Velocity: یک کمیت فیزیکی است که میزان تغییر موقعیت زاویه‌ای یک جسم در حال چرخش را در واحد زمان نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، سرعت زاویه‌ای نشان می‌دهد که یک جسم با چه سرعتی حول یک محور در حال دوران است.

### تعریف و مفهوم:

سرعت زاویه‌ای معیاری برای سنجش میزان تغییرات موقعیت زاویه‌ای یک جسم در طول زمان است. این کمیت نشان می‌دهد که یک جسم با چه سرعتی حول یک محور در حال چرخش است. در واقع، سرعت زاویه‌ای یک بردار است که جهت آن عمود بر صفحه چرخش است و معمولاً با استفاده از قانون دست راست تعیین می‌شود.

$$\omega = ?$$

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t = \pi/6 \text{sec} = 180 \text{rad}/6 \text{sec} = 30 \text{rad/sec}$$

### تمرین:

1:- زاویه پیموده شده در حرکت دایروی  $3\pi \text{rad}/2$  در زمان 6sec سرعت زاویه آن را در یافت کنید

### 3: سرعت زاویه بی لحظه بی

سرعت زاویه ای لحظه ای ((Instantaneous Angular Velocity به سرعت چرخش یک جسم در یک لحظه خاص اشاره دارد. به عبارت دیگر، این کمیت نشان می‌دهد که یک جسم با چه سرعتی و در چه جهتی در حال دوران در یک لحظه معین است.

توضیحات بیشتر:

#### • تعریف:

سرعت زاویه ای لحظه ای، مشتق موقعیت زاویه ای نسبت به زمان است.

#### • فرمول:

اگر  $\theta$  موقعیت زاویه ای جسم را نشان دهد، سرعت زاویه ای لحظه ای (  $\omega$ ) با فرمول زیر محاسبه می‌شود:  $\omega = d\theta/dt$ .

#### • واحد:

واحد سرعت زاویه ای در سیستم SI، رادیان بر ثانیه (rad/s) است.

#### • جهت:

جهت سرعت زاویه ای با استفاده از قانون دست راست تعیین می‌شود.

#### • تفاوت با سرعت زاویه ای متوسط:

سرعت زاویه ای متوسط در یک بازه زمانی مشخص محاسبه می‌شود، در حالی که سرعت زاویه ای لحظه ای در یک نقطه زمانی خاص محاسبه می‌شود.

مثال:

فرض کنید یک دیسک در حال چرخش است. سرعت زاویه ای لحظه ای دیسک در هر لحظه، نشان می‌دهد که دیسک با چه سرعتی و در چه جهتی در آن لحظه خاص در حال چرخش است.

مثال:- معادله حرکت دایروی به شکل  $\theta = 2t + 5$  سرعت زاویه بی متحرک را در یابید.

حل: مشتق اول آنرا در یافت می کنیم  $\frac{d\theta}{dt} = 2t$

#### 4: حرکت دایره بی یکنواخت

حرکت دایره ای یکنواخت به حرکتی گفته می‌شود که در آن جسم با سرعت ثابت در یک مسیر دایره ای حرکت می‌کند. در این نوع حرکت، اگرچه سرعت جسم (به عنوان یک کمیت برداری که شامل جهت و اندازه است) ثابت نیست، اما اندازه سرعت (تندی) ثابت می‌ماند.

توضیحات بیشتر:

#### • مسیر دایره ای:

جسم در یک مسیر دایره ای با شعاع ثابت حرکت می‌کند.

#### • سرعت ثابت (اندازه):

تندی جسم که اندازه سرعت است، در طول مسیر ثابت می‌ماند.

#### • سرعت متغیر

با وجود ثابت بودن تندی، جهت سرعت دائماً در حال تغییر است، زیرا سرعت یک کمیت برداری است و جهت آن به سمت مماس بر دایره در هر لحظه است.

#### • شتاب مرکزگرا:

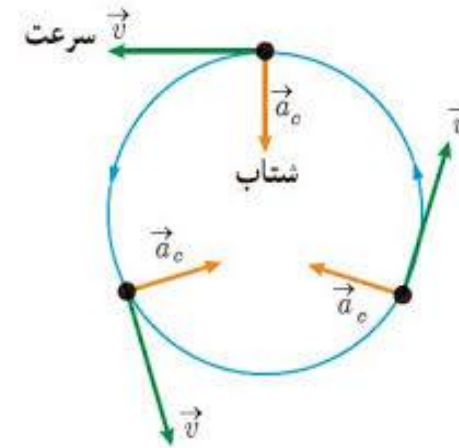
به دلیل تغییر جهت سرعت، یک شتاب به نام شتاب مرکزگرا در این نوع حرکت وجود دارد. این شتاب همواره به سمت مرکز دایره است.

#### • نیروی مرکزگرا:

نیروی مرکزگرا نیرویی است که باعث ایجاد شتاب مرکزگرا می‌شود و همواره به سمت مرکز دایره وارد می‌شود.

#### • مثال‌ها:

چرخش یک ماشین لباسشویی، حرکت ماهواره به دور زمین (در صورتی که مدار دایره‌ای باشد)، حرکت یک سنگ که با یک ریسمان به دور سر چرخانده می‌شود.



### ● .. پریود

زمان تناوب در حرکت دایروی به زمانی گفته می‌شود که یک جسم برای کامل کردن یک دور کامل در مسیر دایره‌ای به آن نیاز دارد. به عبارت دیگر، این زمان، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک جسم یک بار مسیر دایره‌ای را طی کند و به نقطه شروع خود بازگردد. به عنوان مثال، اگر یک سیاره به دور خورشید در یک مدار دایره‌ای بچرخد، زمان تناوب آن، زمانی است که طول می‌کشد تا یک دور کامل به دور خورشید بچرخد.

توضیحات بیشتر:

### ● حرکت دایروی:

حرکتی است که در آن یک جسم در یک مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند.

### ● حرکت تناوبی:

حرکتی است که در آن یک جسم پس از یک دوره زمانی مشخص، مسیر خود را تکرار می‌کند.

### ● زمان تناوب:

مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک چرخه کامل از حرکت تناوبی اتفاق بیفتد

✓ فرمول زمان تناوب

$T = \frac{t}{n}$  که در این فرمول  $T$  زمان تناوب  $n$  تعداد درو و  $t$  مدت زمان آن می‌باشد

مثال:- متحرک در مسیر دایروی 10 دور را در مدت 60sec انجام میدهد پریود آنرا در یافت کنید؟

$$n=10$$

حل:-

$$t=60\text{sec}$$

$$T=?$$

$$T = \frac{t}{n} = 60\text{sec}/10 = 6\text{sec}$$

### ● 6. فریکونسی

فریکونسی در حرکت دایروی به تعداد دفعاتی گفته می‌شود که یک جسم در واحد زمان یک دور کامل در مسیر دایره‌ای را طی می‌کند. این مفهوم با واحد هرتز (Hz) یا دور بر ثانیه (دوره/ثانیه) اندازه‌گیری می‌شود. به عبارت دیگر، فرکانس نشان‌دهنده سرعت تکرار حرکت دایروی است.

توضیحات بیشتر:

### ● حرکت دایروی:

حرکتی است که در آن یک جسم در یک مسیر دایره‌ای با سرعت ثابت (در حرکت دایره‌ای یکنواخت) یا با سرعت متغیر (در حرکت دایره‌ای غیریکنواخت) حرکت می‌کند.

### ● فرکانس: (f)

تعداد دورهای کامل طی شده در یک ثانیه.

### ● دوره: (T)

مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک دور کامل در حرکت دایروی طی شود.

### ● رابطه فرکانس و دوره:

فرکانس و دوره با یکدیگر رابطه معکوس دارند، به این معنی که  $f = 1/T$ .

● سرعت زاویه‌ای (  $\omega$  ) نیز با فرکانس مرتبط است:  $\omega = 2\pi f$ .

● سرعت خطی (  $v$  ) جسم نیز با فرکانس و شعاع دایره (  $r$  ) مرتبط است:  $v = 2\pi r f$ .

رابطه بین سرعت خطی ( $v$ ) و سرعت زاویه‌ای ( $\omega$ ) در حرکت دایره‌ای یکنواخت به صورت زیر است:

$$v = \omega r \text{ و } v = 2\pi r f \text{ که در آن } r \text{ شعاع دایره است.}$$

**مثال:** اگر یک سنگ را با طناب به دور سر خود بچرخانید، سرعت خطی سنگ در هر لحظه برابر با سرعت مماس بر دایره‌ای است که سنگ در حال چرخش در آن است. جهت این سرعت همواره مماس بر دایره و در جهت حرکت سنگ است.



**مثال:** جسمی روی مسیر دایروی با شعاع 2m فریکانس 20Hz دوران می‌کند سرعت خطی آنرا در یابید؟

$$r=2m$$

$$f=20Hz$$

$$v=?$$

$$v=2\pi r f=2.3,14.2m.20Hz=251,2m/sec$$

**تمرین:**

1:- جسمی روی مسیر دایروی با شعاع 2m و سرعت زاویه‌ای 125,6rad/sec دوران می‌کند سرعت خطی آنرا در یابید؟

## 8. - شتاب در حرکت دایره یکنواخت

شتاب دایروی (Circular acceleration) یا شتاب مرکزگرا (centripetal acceleration) در حرکت دایره‌ای به شتابی اشاره دارد که یک جسم در حال حرکت در مسیر دایره‌ای را به سمت

بنابراین، فرکانس در حرکت دایروی یک مفهوم کلیدی است که سرعت تکرار حرکت دایروی را نشان می‌دهد و با مفاهیم دیگری مانند دوره، سرعت زاویه‌ای و سرعت خطی در ارتباط است

**مثال:** متحرک در مسیر دایروی 10 دور را در مدت 60sec انجام میدهد فریکونسی و پریود آنرا در یافت کنید؟

$$n=10$$

$$t=60sec$$

$$T=?$$

$$f=?$$

$$T=\frac{t}{n}=60sec/10=6sec$$

$$f=1/T=1/6sec=$$

$$0,16Hz$$

## 7. - سرعت خطی در حرکت دایره ی

سرعت خطی در حرکت دایره‌ای به سرعت مماس بر مسیر دایره‌ای حرکت جسم گفته می‌شود. این سرعت، اندازه و جهت دارد و همواره بر مسیر دایره‌ای مماس است. به عبارت دیگر، اگر یک جسم به صورت دایره‌ای حرکت کند، سرعت خطی آن در هر لحظه نشان‌دهنده سرعت حرکت جسم در امتداد مماس بر دایره در آن نقطه است.

**توضیحات بیشتر:**

### • سرعت خطی چیست؟

در حرکت دایره‌ای، سرعت خطی ( $v$ ) به صورت مماس بر دایره و با جهت حرکت جسم در هر لحظه است. این سرعت نشان می‌دهد که جسم با چه سرعتی در امتداد مسیر دایره‌ای خود حرکت می‌کند.

### • تفاوت با سرعت زاویه‌ای:

سرعت خطی با سرعت زاویه‌ای ( $\omega$ ) متفاوت است. سرعت زاویه‌ای به سرعت تغییر زاویه جسم نسبت به مرکز دایره اشاره دارد. در حالی که سرعت خطی به سرعت جابجایی جسم در طول مسیر دایره‌ای اشاره دارد.

### • رابطه بین سرعت خطی و زاویه‌ای:

### تمرین:

1:- یک ذره با سرعت 10m/sec در مسیر دایروی با شعاع 2m در حرکت است شتاب ذره را دریافت کنید؟

### 8. - دینامیک حرکت دایره یی یکنواخت.

دینامیک حرکت دایره‌ای یکنواخت به بررسی قوه‌های می‌پردازد که باعث ایجاد حرکت دایره‌ای یکنواخت می‌شوند. در این نوع حرکت، جسم با تندی ثابت روی یک دایره یا بخشی از آن حرکت می‌کند، اما جهت سرعت دائماً در حال تغییر است که این امر منجر به وجود شتاب می‌شود.

#### نکات کلیدی:

#### • قوه جذب به مرکز:

این نیرو همیشه به سمت مرکز دایره وارد می‌شود و مسئول تغییر جهت سرعت است. بدون این نیرو، جسم در مسیر مستقیم حرکت خواهد کرد.

#### • شتاب جذب به مرکز:

این شتاب نیز همیشه به سمت مرکز دایره است و به دلیل تغییر جهت سرعت ایجاد می‌شود. اندازه این شتاب با مجذور سرعت و عکس شعاع دایره متناسب است.

#### • رابطه بین قوه و شتاب:

طبق قانون دوم نیوتن، نیروی مرکزگرا برابر است با حاصل ضرب جرم جسم در شتاب مرکزگرا. فرمول‌ها:

$$f = mr \omega^2$$

فرمول قوه جذب فرار از مرکز

$$f = m \frac{v^2}{r}$$

فرمول قوه جذب به مرکز

$$m \frac{v^2}{r} = mr \omega^2$$

رابطه بین قوه جذب بقیه مرکز و فرار از مرکز

مثال :- جسمی با کتله 3kg در مسیر دایروی با شعاع 3m و سرعت خطی 2m/s در حرکت است در این صورت قوه جذب به مرکز را دریابید؟

مرکز دایره می‌کشد و باعث تغییر جهت حرکت آن می‌شود. این شتاب همیشه به سمت مرکز دایره است و اندازه آن به سرعت جسم و شعاع دایره بستگی دارد.

#### شرح مفصل:

در حرکت دایره‌ای، اگرچه ممکن است اندازه سرعت (تندی) جسم ثابت باشد، اما جهت سرعت دائماً در حال تغییر است. این تغییر جهت نیاز به یک شتاب دارد که به سمت مرکز دایره وارد می‌شود. این شتاب، شتاب دایروی یا مرکزگرا نامیده می‌شود.

#### فرمول شتاب دایروی:

فرمول محاسبه شتاب دایروی ( $a_c$ ) به این صورت است:

$$a_c = v^2 / r$$

که در آن  $v$ : اندازه سرعت جسم (تندی  $r$ : شعاع دایره).

#### ویژگی‌های شتاب دایروی:

#### • همیشه به سمت مرکز:

جهت شتاب دایروی همیشه به سمت مرکز دایره‌ای است که جسم در آن حرکت می‌کند.

#### • متناسب با مربع سرعت:

هرچه سرعت جسم بیشتر باشد، شتاب دایروی نیز بیشتر می‌شود (به صورت مجذور).

#### • متناسب با معکوس شعاع:

هرچه شعاع دایره بزرگتر باشد، شتاب دایروی کمتر می‌شود.

مثال: یک ذره با سرعت 5m/sec در مسیر دایروی با شعاع 1m در حرکت است شتاب ذره را دریافت کنید؟

حل:

$$v=5\text{m/sec}$$

$$r=1\text{m}$$

$$a=?$$

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(5\text{m/sec})^2}{1\text{m}} = \frac{25\text{m}}{\text{sec}^2}$$

حل:-

$$f = m \frac{v^2}{r} = 3kg \frac{\left(\frac{2m}{s}\right)^2}{3m} = 4N$$

تمرین:

مثال 1:- جسمی با کتله 4kg در مسیر دایروی با شعاع 2m و سرعت خطی 6m/s در حرکت است در این صورت قوه جذب به مرکز را دریابید؟

مثال 2:- جسمی با کتله 5kg در مسیر دایروی با شعاع 3m و سرعت زاویه پی 2rad/s در حرکت است در این صورت قوه فراراز مرکز را دریابید؟

دوره هشتم

اهداف آموزشی :

10. قوانین حرکت نیوتن

11. قانون اول نیوتن (عطالت)

12. قانون دوم نیوتن

13. قانون سوم نیوتن

14. قوه عمودی تکیه گاه

15. تطبیقات قوانین نیوتن

16. تطبیق قوانین نیوتن در تعادل انتقالی اجسام

17. تطبیق قانون دوم نیوتن در حرکت دایروی

18. قوه اصطکاک

1. قوانین حرکت نیوتن

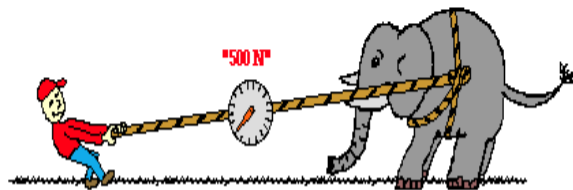
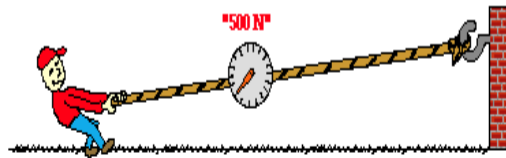
قانون اول نیوتن (قانون عطالت)

- مفهوم: اگر بر جسمی نیروی وارد نشود یا نیروی وارد شده در مجموع صفر باشد، جسم در حالت سکون باقی می ماند یا حرکت یکنواخت مستقیم الخط خود را ادامه می دهد.

- عطالت: خاصیت اجسام است که در برابر تغییر حالت حرکت یا سکون مقاومت می کنند.

- نمونه ها:

- حرکت اتوبوس که ناگهان توقف می کند و مسافران به جلو پرتاب می شوند.
- توپ فوتبال تا زمانی که لگد نخورد حرکت نمی کند.



۲. قانون دوم نیوتن

- بیان: شتاب جسم متناسب با نیروی خالص وارد بر آن و معکوس متناسب با کتله آن است.

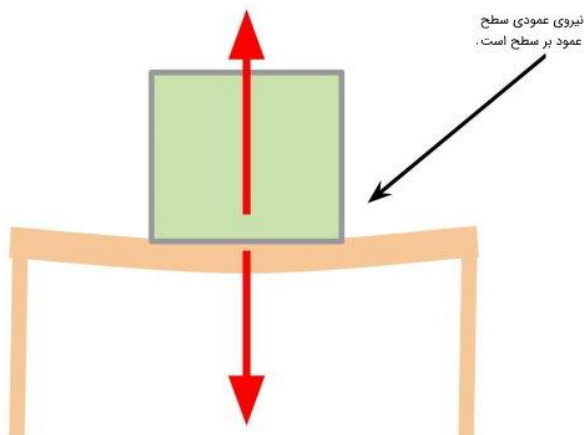
$$F = ma$$

- نکات:

- کتله زیاد → تغییر حرکت مشکل تر.
- نیرو باعث تغییر سرعت (شتاب) می شود.

- مثال ها:

- هل دادن یک چوکی سبک سریع تر از هل دادن چوکی سنگین.



#### • تطبیقات قوانین نیوتن:

- **قانون اول:** توضیح سکون و حرکت یکنواخت (چراغ برق، کتاب روی میز).
- **قانون دوم:** محاسبه نیرو و شتاب (حرکت موتور).
- **قانون سوم:** توضیح پرتاب راکت، قایق، راه رفتن.
- تطبیق قوانین نیوتن در تعادل انتقالی اجسام:
- جسم در حالت تعادل انتقالی است وقتی:

$$\Sigma F=0$$

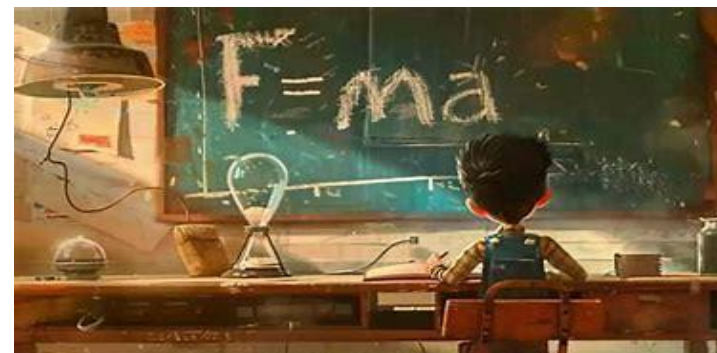
- مثال: چراغی که با ریسمان از سقف آویزان است (وزن پایین و کشش بالا همدیگر را خنثا می سازند)

#### • تطبیق قانون دوم نیوتن در حرکت دایروی:

- وقتی جسمی در مسیر دایره ای حرکت می کند، همیشه نیروی به مرکز دایره وارد می شود:

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

- این نیرو را نیروی مرکزگرا می گویند.



### ۳. قانون سوم نیوتن (عمل و عکس العمل)

- بیان: هرگاه جسمی بر جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیروی مساوی و در جهت مخالف بر جسم اول وارد می کند.
- ویژگی: نیروها همیشه جفتی اند.
- مثال ها:

- جهش راکت به بالا به دلیل فشار گازها به پایین.
- شخص هنگام راه رفتن به زمین نیرو وارد می کند و زمین او را به جلو می راند

#### • قوه عمودی تکیه گاه:

- وقتی جسمی روی سطحی قرار می گیرد، سطح به آن نیروی عمودی وارد می کند.
- این نیرو هم اندازه و خلاف جهت وزن مؤثر جسم است (وقتی تعادل وجود دارد).
- نمونه: کتاب روی میز؛ نیروی عمودی تکیه گاه میز وزن کتاب را خنثا می سازد .

• نمونه‌ها:

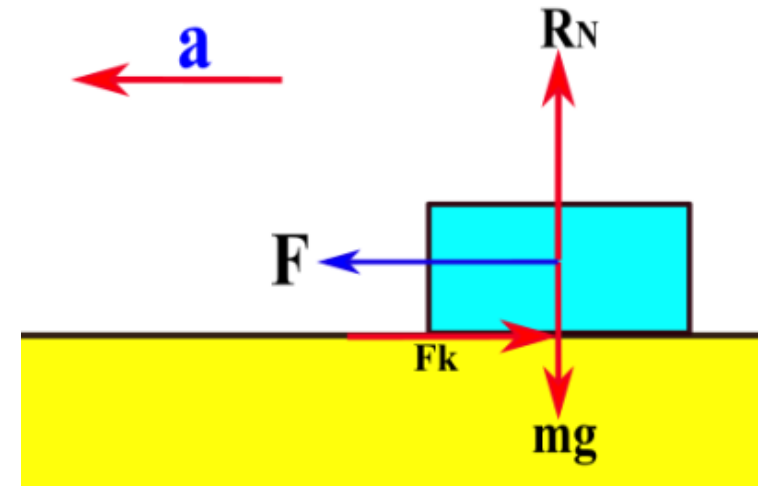
- حرکت ماه به دور زمین.
- حرکت موتر در جاده‌ی منحنی.
- گره‌زدن سنگ به ریسمان و چرخاندن آن.

قوة اصطكاك (Friction Force)

۱. تعريف

قوة اصطكاك نیروی است که بین دو سطح تماس وجود دارد و در برابر حرکت یا تمایل به حرکت جسم مقاومت می‌کند.

- همیشه مخالف جهت حرکت یا تمایل به حرکت عمل می‌کند.
- ناشی از ناهمواری‌های میکروسکوپی سطح‌ها و نیروی جاذبه بین ملکول‌ها است.



۲. انواع قوة اصطكاك

الف) اصطكاك ایستایی (Static Friction)

- زمانی به وجود می‌آید که جسم روی سطح قرار دارد ولی هنوز حرکت نکرده است.
- وظیفه‌اش جلوگیری از شروع حرکت است.

- مقدار آن از صفر تا یک مقدار بیشینه تغییر می‌کند:

$$\mu_s N \geq F_s$$

که در آن:

- $F_s$  نیروی اصطكاك ایستایی
- $\mu_s$  ضریب اصطكاك ایستایی
- $N$  نیروی عمودی تکیه‌گاه

ب) اصطكاك جنبشی (Kinetic Friction)

- زمانی وجود دارد که جسم روی سطح در حال حرکت باشد.
- مقدار آن ثابت است و برابر است با:

$$\mu_k N = F_k$$

- $\mu_k$  همیشه از  $\mu_s$  کمتر است.

ج) اصطكاك غلتشی (Rolling Friction)

- وقتی جسمی مانند توپ یا چرخ روی سطح غلت می‌خورد.
- از اصطكاك جنبشی بسیار کمتر است.
- دلیل استفاده از چرخ در وسایط نقلیه همین کاهش اصطكاك است.
- ۳. عوامل مؤثر بر اصطكاك

۱. ماهیت سطح‌ها (هموار یا ناهموار بودن)
۲. نیروی عمودی تکیه‌گاه: ( $N$ ) هرچه فشار سطح‌ها بر هم بیشتر، اصطكاك بیشتر.
۳. جنس مواد: مانند لاستیک روی قیر در برابر یخ روی آهن.
۴. وجود مواد روان‌ساز: مانند روغن یا گریس که اصطكاك را کاهش می‌دهند.
۴. مزایا و اهمیت اصطكاك
- راه‌رفتن و دویدن: بدون اصطكاك پاها لیز می‌خورند.

- حرکت وسایط نقلیه: موتور و بایسکل فقط به کمک اصطکاک تایر با جاده حرکت می کنند.
- نوشتن: قلم یا پנסل بدون اصطکاک بر کاغذ علامت نمی گذارد.
- گرفتن اجسام: دست ها با اصطکاک چیزی را نگه می دارند.
- ترمز کردن: توقف موتور فقط به کمک اصطکاک تایر و جاده امکان دارد.

۵. معایب اصطکاک

- اتلاف انرژی به شکل گرما و صدا.
- سایش و فرسودگی ماشین ها و ابزار.
- کاهش کارایی موتور و دستگاه ها.

۶. راه های کاهش اصطکاک

1. استفاده از روان سازها (روغن، گریس).

2. استفاده از چرخ و بلبرینگ.

3. صاف کاری و پولیش سطح ها.

4. استفاده از مواد خاص مانند تفلون.

۷. مثال های روزمره از قوه اصطکاک

- لیز خوردن در یخ به دلیل اصطکاک کم.
- روشن کردن آتش با مالش دو سنگ یا چوب.
- حرکت قطار روی ریل (با اصطکاک کم).
- ترمزهای دیسکی موتور.

دوره نهم:

 اهداف آموزشی :

19. قوه اصطکاک حرکتی

20. قانون جاذبه نیوتن،

21. قوه وزن – شتاب جاذبه

22. پراشوت لفت

23. مدارهای دایره پی حرکت اقمار مصنوعی

● ۱: قوه اصطکاک حرکتی

✓ قوه اصطکاک حرکتی

وقتی یک جسم روی سطحی حرکت می کند، سطح در برابر حرکت آن مقاومت می کند. این نیروی مقاوم را قوه اصطکاک حرکت می نامند.

◆ ویژگی ها:

1. جهت قوه اصطکاک حرکت همیشه خلاف جهت حرکت جسم است.

2. مقدار آن معمولاً از قوه اصطکاک ساکن (وقتی جسم بی حرکت است) کمتر است.

3. اگر سطح صاف و صیقلی باشد، اصطکاک کم است؛ ولی اگر سطح زبر و ناهموار باشد، اصطکاک زیاد است.

4. اصطکاک حرکت به جنس سطح ها و وزن جسم بستگی دارد.

فرمول

اگر جسمی روی سطح افقی حرکت کند:

$$F_k = \mu_k \cdot N$$

که در آن:

$F_k$  قوه اصطکاک حرکت

$\mu_k$  ضریب اصطکاک جنبشی (حرکتی)

$N$  نیروی عمودی (معمولاً برابر وزن جسم روی سطح افقی)

مثال ساده

اگر یک کتاب روی میز حرکت داده شود، سطح میز در برابر حرکت آن مقاومت می‌کند. همین مقاومت، قوه اصطکاک حرکت است که باعث می‌شود کتاب کم‌کم سرعتش را از دست بدهد و بایستد.

**مثال:** جسمی با کتله  $12\text{kg}$  را توسط طنابی که به آن وصل است، روی سطح افقی می‌کشیم، اگر جهت طناب افقی، و ضریب اصطکاک حرکتی بین سطح تماس دو جسم برابر به  $0.25$  باشد. قوه اصطکاک حرکتی وارد بر جسم چند نیوتن خواهد بود؟ ( $g$  را برابر به  $10\text{m/s}^2$  فرض کنید). موضوع را در زیر مورد بررسی قرار می‌دهیم.

**حل:** قوه‌های وارده بر جسم در شکل زیر نشان داده شده است. چون جسم در امتداد سطح افقی حرکت می‌کند، از قانون دوم نیوتن نتیجه می‌شود که محصله قوه‌های وارده بر جسم در جهت عمود صفر است:

$$N - W = 0$$

$$N = W = mg$$

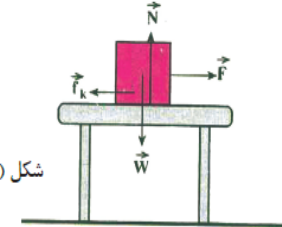
$$N = 120\text{ (N)}$$

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

$$f_k = 0.25 \times 120$$

$$f_k = 30\text{ (N)}$$

شکل (4-20)



## 2- قانون جاذبه نیوتن

قانون جاذبه نیوتن بیان می‌کند که نیروی گرانشی بین دو جسم با جرمشان نسبت مستقیم و با فاصله میان آنها نسبت وارون با توان دو فاصله، رابطه دارد. به عبارت دیگر، هر چه جرم دو جسم بیشتر باشد و فاصله آنها کمتر باشد، نیروی گرانش بین آنها بیشتر خواهد بود.

### مفاهیم کلیدی قانون جاذبه نیوتن:

- **جرم دو جسم:** نیروی گرانش مستقیماً با جرم هر دو جسم متناسب است. این بدان معناست که دو جسم با جرم بیشتر، نیروی گرانشی بیشتری به یکدیگر وارد می‌کنند.
- **فاصله دو جسم:** نیروی گرانش با مجذور فاصله بین دو جسم نسبت وارون دارد. یعنی اگر فاصله دو جسم دو برابر شود، نیروی گرانش چهار برابر کاهش می‌یابد.
- **ثابت گرانش (G):** این قانون یک ثابت جهانی به نام ثابت گرانش ( $G$ ) را معرفی می‌کند که نقش ضریب تناسب را در این رابطه ایفا می‌کند.

## کاربردهای قانون جاذبه نیوتن:

این قانون مدار زمین و سیارات دیگر را با دقت بسیار خوبی توصیف می‌کند و یک نیروی ریاضی است که بر هر چیز دارای جرم اثر می‌گذارد.

## محدودیت‌های قانون جاذبه نیوتن:

- این نظریه در قرن نوزدهم برای پیش‌بینی وجود سیاره نپتون بر اساس حرکات اورانوس استفاده شد، اما discrepancies در مدار عطارد نشان‌دهنده نقص در نظریه نیوتن بود.
- این موضوع نهایتاً در سال ۱۹۱۵ توسط نظریه نسبیت عام آلبرت انیشتین حل شد.

## فرمول قوه جاذبه نیوتن

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

توضیحات اجزای فرمول:

**F (نیروی):**

نیروی جاذبه‌ای است که دو جسم با جرم‌های  $m_1$  و  $m_2$  به یکدیگر وارد می‌کنند.

**G (ثابت جهانی گرانش):**

یک مقدار ثابت جهانی است که مقدار آن در دستگاه SI برابر با  $6.67 \times 10^{-11}$  به توان منفی ۱۱ نیوتن متر مربع بر

کیلوگرم مربع ( $\text{N.m}^2/\text{kg}^2$ ) است.

**$m_1$  و  $m_2$  (جرم‌ها):**

جرم دو جسم مورد نظر هستند.

**r (فاصله):**

فاصله بین مرکز جرم دو جسم است.

**مفهوم قانون:**

این فرمول بیان می‌کند که:

- نیروی گرانشی بین دو جسم با حاصل‌ضرب جرم‌های آنها نسبت مستقیم دارد؛ یعنی هر چه جرم جسم‌ها بیشتر باشد، نیروی گرانش نیز بیشتر است.

- این نیرو با مجذور فاصله بین دو جسم نسبت عکس دارد؛ یعنی با افزایش فاصله، نیروی گرانش به سرعت کاهش

- عوامل مؤثر: وزن جسم به دو عامل بستگی دارد
  - جرم جسم: (m) مقدار ماده تشکیل دهنده جسم است.
  - شتاب جاذبه: (g) شتاب رو به پایینی است که جاذبه به جسم وارد می کند.

#### شتاب جاذبه (Gravitational Acceleration)

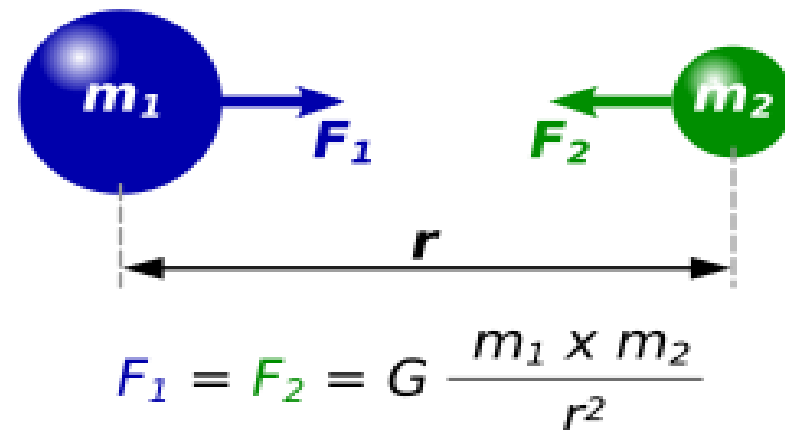
- تعریف: شتاب جاذبه که با 'g' نمایش داده می شود، شتابی است که تمام اجسام در نزدیکی سطح زمین به دلیل نیروی جاذبه پیدا می کنند و باعث می شوند با سرعت افزایش یابنده به سمت زمین سقوط کنند.
- واحد: واحد شتاب جاذبه در سیستم SI، متر بر مجذور ثانیه ( $m/s^2$ ) است
- مقدار: مقدار تقریبی شتاب جاذبه در سطح زمین حدود  $9.8 m/s^2$  است
- نکته: شتاب جاذبه (g) و ثابت گرانش جهانی (G) متفاوت هستند؛ G ثابت گرانش جهانی است که در قانون جهانی گرانش نیوتن به کار می رود، اما g شتابی است که بر روی یک جسم خاص در اثر جاذبه وارد می شود.

#### 4- پراشوت لفت

پراشوت آسانسور یک سیستم ترمز اضطراری است که از سقوط کابین در صورت افزایش ناگهانی سرعت آن جلوگیری می کند. در مواقع اضطراری، گاورنر (سیستم کنترل سرعت) فعال شده و باعث کشیده شدن اهرم متصل به پراشوت می شود. این عمل باعث درگیر شدن دو فک پراشوت با ریل های راهنمای آسانسور شده و به تدریج سرعت کابین را کاهش داده و آن را متوقف می کند.

#### نحوه عملکرد پراشوت

1. فعال سازی گاورنر: در صورت عبور سرعت کابین از حد مجاز، گاورنر قفل شده و سیم بکسل متصل به آن متوقف می شود.
2. فعال سازی پراشوت: توقف سیم بکسل گاورنر باعث کشیده شدن اهرمی می شود که به پراشوت متصل است.
3. درگیر شدن فک ها با ریل: کشیده شدن اهرم، فک های پراشوت را به یکدیگر نزدیک کرده و باعث می شود با ریل های راهنما درگیر شوند.



**مثال:** دو جسم با کتله های  $5kg$  و  $12kg$  در فاصله یک متری از یکدیگر قرار دارند. قوه جاذبه ای میان آن ها را محاسبه نمایید.

**حل:**  $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \Rightarrow F = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{5 \times 12}{1^2} \Rightarrow F = 4 \times 10^{-9} N$

#### 3: قوه وزن - شتاب جاذبه

نیروی وزن نیروی جاذبه ای است که از طرف زمین بر یک جسم وارد می شود و با فرمول  $W = m * g$  وزن = جرم  $\times$  شتاب جاذبه (محاسبه می شود، در حالی که شتاب جاذبه (g) شتابی است که اجسام در اثر نیروی جاذبه به سمت زمین پیدا می کنند و مقدار آن در سطح زمین حدود  $9.8$  متر بر مجذور ثانیه ( $m/s^2$ ) است

#### نیروی وزن (Weight)

- تعریف: نیروی وزن، همان نیروی جاذبه ای است که زمین به یک جسم وارد می کند و آن را به سمت خود می کشد
- فرمول: نیروی وزن (W) با ضرب کردن جرم جسم (m) در شتاب جاذبه (g) به دست می آید.
  - $W = m * g$
- واحد: واحد نیروی وزن نیوتن (N) است

4. کاهش سرعت و توقف: درگیری فکها با ریلها، مانند ترمز عمل کرده و با ایجاد نیروی اصطکاک، باعث کاهش تدریجی سرعت کابین و در نهایت توقف کامل آن می شود.

### اهمیت پاراشوت

• ایمنی مسافران: پاراشوت نقش حیاتی در حفظ جان مسافران دارد و از سقوط کابین به داخل چاه آسانسور جلوگیری می کند.

• نوع مکانیزم: پاراشوتها در دو نوع «تدریجی» و «لحظه‌ای» وجود دارند که بسته به نوع آسانسور (گیربکسی یا گیرلس) و سرعت آن، در سیستم‌های ایمنی مورد استفاده قرار می گیرند

### 5. ماهواره های مصنوعی

مدار یک ماهواره مصنوعی به صورت دایره‌ای است زیرا تحت تأثیر نیروی گرانش زمین و نیروی اینرسی خود قرار دارد که باعث می شود در یک مسیر تقریباً دایره‌ای به دور زمین بچرخد. ماهواره‌های مصنوعی در انواع مختلفی از مدارها حرکت می کنند، از جمله مدارهای با ارتفاع بلند، متوسط، کوتاه و مدارهای خورشیدهمزمان (سانسینکرنوس) یا قطبی، که اغلب آن‌ها دایره‌ای شکل هستند.

### علت حرکت در مدار دایره‌ای

• نیروی گرانش: زمین ماهواره را به سمت خود می کشد  
• نیروی اینرسی: ماهواره به دلیل سرعت خود در فضا، تمایل به حرکت در یک خط مستقیم دارد

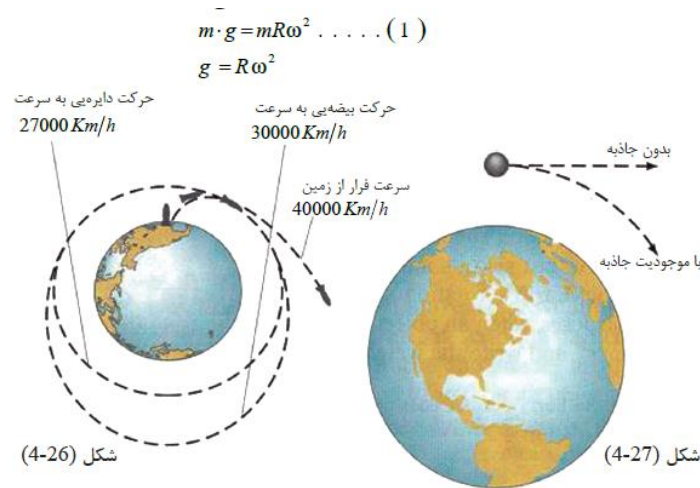
این دو نیرو با هم ترکیب شده و باعث می شوند ماهواره در یک مسیر ثابت و تقریباً دایره‌ای به دور زمین بچرخد.

### انواع مدارهای ماهواره‌های مصنوعی

با وجود اینکه مدارها اغلب دایره‌ای شکل هستند، اما انواع مختلفی وجود دارند که بسته به کاربرد ماهواره انتخاب می شوند:

- مدارهای با ارتفاع بلند: برای ماهواره‌های مخابراتی و علمی.
- مدارهای با ارتفاع متوسط: برای ماهواره‌های ناوبری و ارتباطات.

- مدارهای با ارتفاع کوتاه: برای ماهواره‌های رصد زمین و هواشناسی.
- مدارهای خورشیدهمزمان (سانسینکرنوس) یا قطبی: این مدارها برای رصد منظم سطح زمین استفاده می شوند و در عرض‌های جغرافیایی بالا قرار می گیرند.



چون  $\omega = \frac{V}{R}$  است و  $V$  سرعت خطی قمر مصنوعی می باشد، پس با وضع نمودن قیمت داریم که:

$$g = \frac{V^2}{R} \dots \dots (2)$$

### دوره دهم:

### اهداف آموزشی:

1. کار
2. انرژی میخانیکی و طاقت
3. کاری که توسط قوه ثابت اجرا می شود
4. کار و انرژی حرکتی
5. کار و انرژی پتانسیل
6. کاری که بوسیله فنر بالای کتله انجام می شود
7. کاری که بوسیله گاز با فشار ثابت بالای پستون اجرا می شود
8. قوه های تحفظی و غیر تحفظی
9. تحفظ انرژی میخانیکی

10. کار انجام شده توسط قوه های غیر تحفظی

11. توان

● ۱: کار

✓ کار عبارت از حاصل ضرب قوه در تغییر مکان جسم را کار میگوید.

در فیزیک، "کار" (Work) مقدار انرژی منتقل شده به یک جسم از طریق اعمال نیرو و ایجاد جابجایی در آن است. این کمیت با فرمول  $W = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$  محاسبه می شود، که  $F$  نیروی اعمال شده،  $d$  جابجایی جسم، و  $\theta$  زاویه بین نیرو و جابجایی است. واحد اندازه گیری کار در سیستم SI، ژول (Joule) است.

**مفهوم کار در فیزیک:**

- **انتقال انرژی:** کار، شکلی از انتقال انرژی است. وقتی نیرویی باعث جابجایی جسمی می شود، انرژی به آن جسم منتقل شده و آن را "کار" انجام داده می نامیم.

- **نیاز به نیرو و جابجایی:** برای انجام کار، هم به نیروی وارد شده بر جسم و هم به جابجایی جسم در اثر آن نیرو نیاز است. اگر جسمی جابجا نشود (حتی با وجود نیروی بسیار زیاد)، کار فیزیکی انجام نشده است.

- **کمیت نردهای (اسکالر):** کار یک کمیت نردهای است، به این معنی که تنها یک مقدار عددی دارد و جهت در آن مطرح نیست.

**فرمول کار:**

فرمول کلی برای محاسبه کار به صورت زیر است:

$$W = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$$

- **W:** کار انجام شده (ژول)

- **F:** اندازه نیروی وارد شده (نیوتن)

- **d:** اندازه جابجایی جسم (متر)

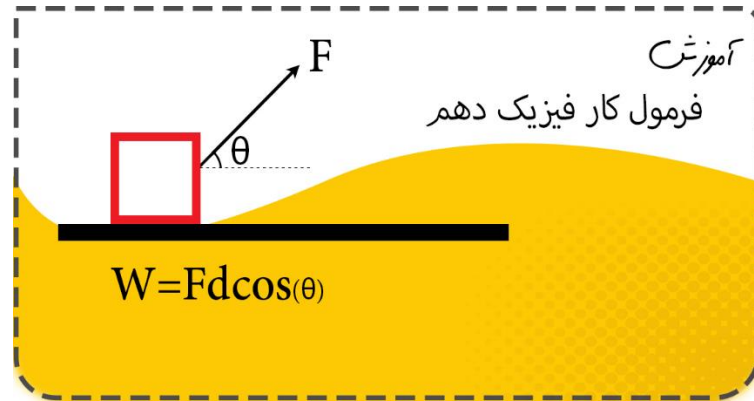
- **$\theta$ :** زاویه بین راستای بردار نیرو و راستای بردار جابجایی.

**نکات مهم:**

- **کار صفر:** اگر زاویه  $\theta$  برابر 90 درجه ( $\cos(90) = 0$ ) باشد، کار انجام شده صفر است. این در مورد نیروی وزن و نیروی عمودی سطح در جابجایی افقی صدق می کند.

- **کار منفی:** وقتی زاویه بین نیرو و جابجایی بزرگتر از 90 درجه و کمتر از 180 درجه باشد (کسینوس منفی)، کار انجام شده منفی خواهد بود.

- **قضیه کار-انرژی:** کار کل انجام شده بر روی یک جسم برابر با تغییر انرژی جنبشی آن است.



**مثال:** شخصی قوه افقی 70N را بر جسمی وارد آورده و آن را به اندازه 10m بی جا می کند،

مقدار کار شخص را دریابید.

$$w = F \cdot d$$

**حل:** بر طبق رابطه (1) داریم که:

$$w = (70N)(10m) = 700J$$

**2:-- انرژی میخانیکی و طاقت**

انرژی مکانیکی مجموع انرژی جنبشی (انرژی حرکت) و انرژی پتانسیل (انرژی ذخیره شده) است و در یک سیستم ایزوله که تحت تأثیر نیروهای مقاوم نیست، ثابت می ماند. این مفهوم کلیدی در فیزیک، به توضیح و پیش بینی رفتار سیستم های مختلف کمک کرده و در فناوری های نوین کاربرد دارد.

**انرژی مکانیکی چیست؟**

انرژی مکانیکی حاصل جمع دو نوع انرژی است:

- **انرژی جنبشی:** انرژی است که یک جسم به دلیل حرکت خود دارد.

- **انرژی پتانسیل:** انرژی ذخیره شده در یک جسم به دلیل موقعیت یا وضعیت آن است.

## انواع انرژی پتانسیل:

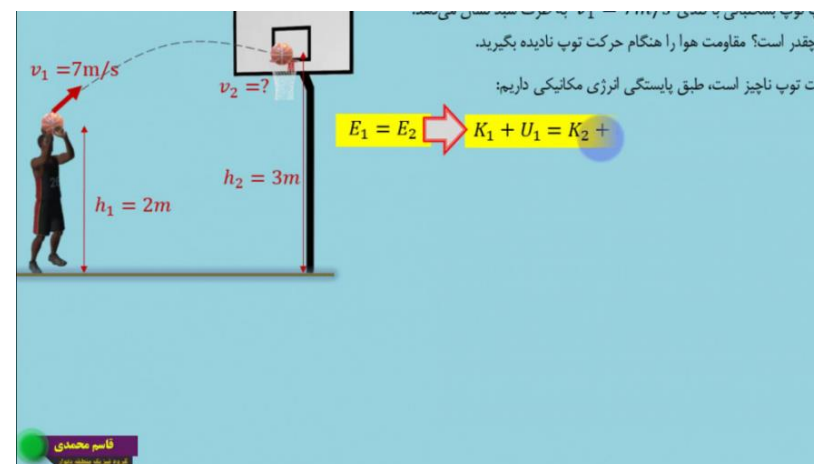
- **انرژی پتانسیل گرانشی:** انرژی ذخیره شده در اجسامی که در ارتفاعی از سطح زمین قرار دارند. هرچه ارتفاع جسم بیشتر باشد، این انرژی نیز بیشتر است.
- **انرژی پتانسیل الاستیک:** انرژی ذخیره شده در اجسامی مانند فنر که کشیده یا فشرده شده اند، به دلیل تغییر شکل آنها.

## اصل بقای انرژی مکانیکی:

اگر در یک سیستم، نیروهای خارجی مانند اصطکاک یا مقاومت هوا وجود نداشته باشند، انرژی مکانیکی کل سیستم ثابت باقی می ماند. به این معنی که اگر انرژی جنبشی کاهش یابد، به همان میزان انرژی پتانسیل افزایش می یابد و بالعکس، اما مجموع آنها ثابت می ماند.

## کاربردها:

مفهوم انرژی مکانیکی در توضیح پدیده های روزمره و توسعه فناوری های جدید کاربرد دارد. به عنوان مثال، انرژی جنبشی باد در آسیاب های بادی، انرژی را به کار مکانیکی برای آسیاب کردن یا تولید برق تبدیل می کند.



## 3: کاری که توسط قوه ثابت اجرا می شود

کاری که توسط یک نیروی ثابت و ثابت اجرا می شود، **کار قوه ثابت** نامیده می شود. این مفهوم در فیزیک بیان می کند که وقتی نیروی ثابتی به یک جسم وارد می شود و باعث جابجایی جسم می شود، آن نیرو کار انجام داده است.

## مفهوم کار در فیزیک

- وقتی نیرویی به جسمی وارد می شود و آن جسم در راستای همان نیرو جابجا می شود، آن نیرو کار انجام داده است.
- فرمول کار به صورت ضرب نیروی ثابت در جابجایی جسم در راستای نیرو است ( $W = F \times d$ ).

## مراحل انجام کار توسط نیروی ثابت

1. **ورود نیروی ثابت:** نیرویی با مقدار و جهت ثابت به جسم اعمال می شود.
  2. **جابجایی جسم:** این نیرو باعث می شود که جسم در جهت خودش جابجا شود.
  3. **انجام کار:** در این صورت، می گوییم که کار توسط آن نیروی ثابت انجام شده است.
- این تعریف پایه درک مفهوم کار در فیزیک است و به ویژه در مباحث مقدماتی فیزیک مورد استفاده قرار می گیرد.



## 4: کار و انرژی حرکتی

کار و انرژی حرکتی (یا جنبشی) دو مفهوم در فیزیک هستند که به طور مستقیم با یکدیگر در ارتباطند. کار مقدار انرژی منتقل شده به یک جسم از طریق نیرو و جابجایی است، در حالی که **انرژی حرکتی** انرژی است که یک جسم به دلیل حرکت خود دارد و با جرم و مجذور سرعت آن متناسب است. طبق **قضیه کار-انرژی**، کار خالص انجام شده بر روی یک جسم برابر با تغییر انرژی جنبشی آن جسم است.

## کار (Work)



### 5. کار و انرژی پتانسیل

کار انجام شده برای تغییر موقعیت جسم در میدان نیرو، با تغییر انرژی پتانسیل آن جسم رابطه مستقیم دارد؛ این کار به صورت انرژی در جسم ذخیره شده و در صورت رهایی جسم، به انرژی حرکتی تبدیل می‌شود. به عنوان مثال، بلند کردن یک توپ تا ارتفاع مشخص، کاری است که انرژی پتانسیل گرانشی آن را افزایش می‌دهد و کشیدن یک فنر، انرژی پتانسیل کشسانی آن را زیاد می‌کند.

#### انرژی پتانسیل چیست؟

انرژی پتانسیل، نوعی انرژی ذخیره شده در یک سیستم یا سامانه است که به دلیل موقعیت یا وضعیت اجزای آن نسبت به یکدیگر و در حضور یک میدان نیرو ایجاد می‌شود.

- **مفهوم سیستم:** انرژی پتانسیل یک مفهوم سیستمی است؛ یعنی به تنهایی برای یک جسم تنها وجود ندارد، بلکه بین دو یا چند جسم که با هم برهم‌کنش متقابل دارند (مانند توپ و زمین) یا در یک میدان نیرو قرار دارند، ذخیره می‌شود.

- نمونه‌ها:

- **تعریف:** در فیزیک، کار به عملی گفته می‌شود که طی آن، اعمال نیرو باعث جابجایی یک جسم شود.

- واحد: واحد کار در سیستم بین‌المللی (SI) ژول است.

- **فرمول:** اگر نیروی ثابت (F) در راستای جابه‌جایی (d) عمل کند، کار (W) برابر است با  $W = F \cdot d$ .

#### انرژی حرکتی (Kinetic Energy)

- **تعریف:** انرژی‌ای است که هر جسم متحرک به دلیل حرکت خود دارد.
- **بستگی‌ها:** انرژی حرکتی به جرم (m) و مجذور سرعت (v) جسم بستگی دارد.
- **فرمول:** انرژی حرکتی (K) با فرمول  $K = \frac{1}{2}mv^2$  محاسبه می‌شود، جایی که m جرم و v سرعت جسم است.
- **ویژگی:** اجسام ساکن انرژی جنبشی ندارند، در حالی که هرچه سرعت یک جسم بیشتر باشد، انرژی جنبشی آن نیز بیشتر است.

#### قضیه کار-انرژی

- **مفهوم:** این قضیه ارتباط بین کار انجام شده و تغییرات انرژی جنبشی را بیان می‌کند.
- **فرمول:** کار خالص (W) انجام شده بر روی یک جسم برابر با تغییر انرژی جنبشی ( $\Delta K$ ) آن است (است)  $W = \Delta K = K_f - K_i$  که  $K_f$  انرژی جنبشی نهایی و  $K_i$  انرژی جنبشی اولیه است

**مثال:** جسمی با کتله 1kg را از ارتفاع 10m رها می‌کنیم. با استفاده از قضیه کار و انرژی هنگامی که جسم به زمین می‌رسد، انرژی حرکتی آن چقدر است؟ تعیین می‌نماییم.

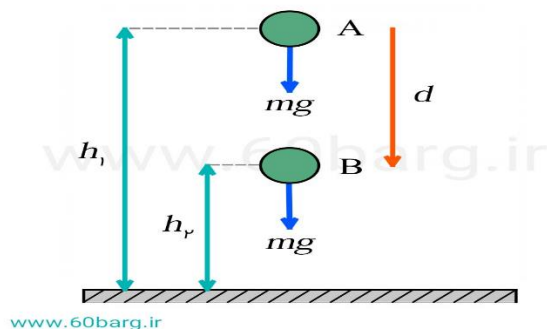
( $g = 10 \text{ m/s}^2$  فرض شود).

**حل:** در این مثال تنها قوه داده شده به جسم، قوه وزن است و کار این قوه برابر است با:

$$W = F \cdot d \cdot \cos\theta = m \cdot g \cdot h \cos 0^\circ = (1\text{kg})(10 \text{ m/s}^2)(10\text{m})(1) = 100 \text{ J}$$

چون انرژی حرکتی اولیه جسم صفر است، پس می‌توانیم بنویسیم:

$$100 = k_2 - 0 \Rightarrow k_2 = 100 \text{ J}$$



### 6. کاری که بوسیله فنر بالای کتله انجام می شود

کاری که توسط فنر بالای جسم انجام می شود به عنوان انرژی پتانسیل کشسانی یا انرژی ذخیره شده در فنر شناخته می شود. این انرژی با فشردن فنر ایجاد شده و به محض رها شدن فنر، به انرژی جنبشی تبدیل می شود و جسم را به حرکت در می آورد.

توضیح بیشتر:

- انرژی پتانسیل کشسانی: هنگامی که فنر را فشرده یا کشش می دهیم، انرژی در آن ذخیره می شود. این انرژی ذخیره شده را انرژی پتانسیل کشسانی می گویند.
  - تبدیل انرژی: وقتی فنر را به حالت فشرده یا کشیده نگه می داریم، انرژی در آن به صورت پتانسیل ذخیره شده است. به محض رها کردن فنر، این انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی (انرژی حرکت) تبدیل می شود.
  - کار انجام شده: فنر در واقع با اعمال نیرو (فشار یا کشش) و جابجایی جسم، کاری را انجام می دهد که باعث ذخیره شدن این انرژی در فنر می شود.
- به طور خلاصه، فنر با ذخیره کردن انرژی از طریق فشردگی یا کشیدگی، کاری را برای جابجایی جسم انجام می دهد و این کار از طریق تبدیل انرژی پتانسیل ذخیره شده در فنر به انرژی جنبشی جسم صورت می گیرد.

فرمول آن

○ انرژی پتانسیل گرانشی: توپ روی میز انرژی پتانسیل گرانشی دارد، چرا که زمین بر آن نیرو وارد می کند و موقعیت آن نسبت به زمین باعث ذخیره این انرژی می شود.

○ انرژی پتانسیل کشسانی: کشیده شدن یا فشرده شدن فنر، انرژی پتانسیل ذخیره می کند.

رابطه کار و انرژی پتانسیل

• کار انجام شده بر جسم: مقدار کاری که برای تغییر وضعیت یا موقعیت جسم در یک میدان نیرو انجام می شود، برابر با تغییر انرژی پتانسیل آن جسم است.

• تغییر انرژی پتانسیل: این تغییر انرژی، به مسیر افقی انجام کار بستگی ندارد. به عبارت دیگر، اگر دو مسیر متفاوت برای انتقال جسم به یک موقعیت نهایی وجود داشته باشد و کار توسط یک نیروی پایستار (مانند گرانش) انجام شود، کار انجام شده در هر دو مسیر یکسان خواهد بود.

• رابطه ریاضی: رابطه بین کار ( $W$ ) و تغییر انرژی پتانسیل ( $\Delta U$ ) در نیروهای پایستار به صورت زیر است:

$$W = -\Delta U$$

مثال ها

- بلند کردن یک جسم: وقتی  $you$  جسمی را بلند می کنید، کاری انجام می دهید که این کار تبدیل به انرژی پتانسیل گرانشی جسم می شود و انرژی آن را افزایش می دهد.
- فنر: هنگام پرتاب جسمی به سمت فنر، فنر فشرده شده و انرژی پتانسیل آن افزایش می یابد. این انرژی در اثر کار انجام شده توسط جسم و وارد کردن نیروی فنر به جسم در خلاف جهت جابه جایی، ذخیره می شود.

$$W = \Delta U = mg(h_2 - h_1)$$

که در این فرمول  $m$  مقدار کتله جسم  $g$  تعجیل جاذبه  $h_1$  و  $h_2$  ارتفاع اولی و دومی  $\Delta U$ .

تغییر انرژی پتانسیل و  $W$  کار انجام شده است.

- کار انجام شده: مقدار کاری که در اثر این جابجایی و بر روی پیستون انجام می‌شود، کار فشار-حجم است.

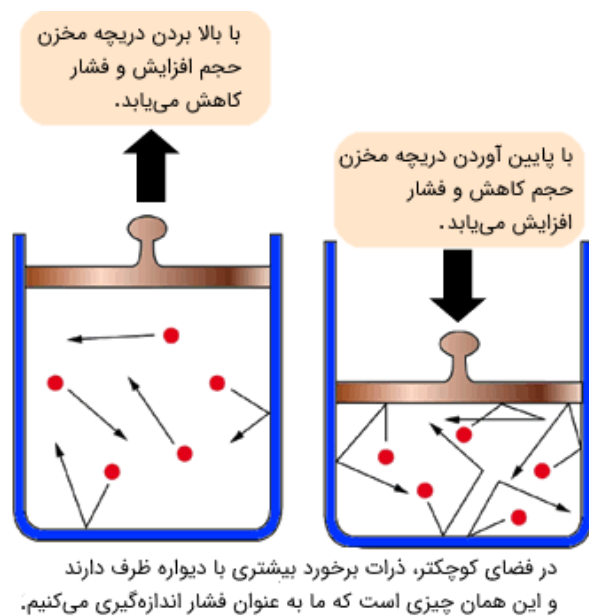
### فرمول محاسبه کار

کار انجام شده ( $W$ ) توسط گاز با فشار ثابت ( $P$ ) و تغییر حجم ( $\Delta V$ ) برابر است با:

$$W = P\Delta V$$

### مثال در دنیای واقعی

یک نمونه از این فرآیند، کار انجام شده توسط گاز در موتورهای دیزلی یا بنزینی است. در این موتورها، گاز منبسط شده و پیستون را جابجا می‌کند و نیروی را برای حرکت خودرو ایجاد می‌کند



### 8. قوه‌های تحفظی و غیر تحفظی

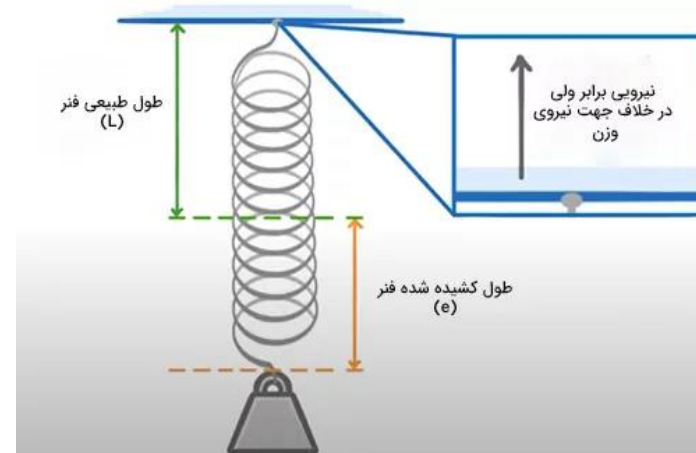
قوه‌های «تحفظی» یا «پایستار» (Conservative) «در فیزیک، قوه‌هایی هستند که کار انجام شده توسط آن‌ها به مسیر طی شده بستگی ندارد و به تنها نقطه شروع و پایان وابسته است. مثال‌هایی از این قواها شامل نیروی گرانش و نیروی فنر می‌شود. در مقابل، قوه‌های «غیر تحفظی» یا «ناپایستار» (Non-conservative) «قوه‌هایی هستند که کار انجام شده توسط آن‌ها به مسیر

$$\bar{W} = \bar{F}X = \frac{1}{2}KX \times X = \frac{1}{2}KX^2$$

که در این فرمول  $W$  کار انجام شده  $K$  ثابت فنر و  $X$  فاصله که فنر باز می‌گردد.

**مثال:** ضریب ثابت فنری  $405 \frac{N}{m}$  است. مقدار کار فنر را به اندازه  $3 \text{ cm}$  که تغییر طول دهد، دریابید؟

**حل:**  $w = \frac{1}{2} (405 \frac{N}{m}) (0.03 \text{ m})^2 = 0.182 \text{ J}$



### 7. کاری که بوسیله گاز با فشار ثابت بالای پیستون اجرا می‌شود

کاری که توسط گاز با فشار ثابت روی یک پیستون انجام می‌شود، «کار فشار-حجم» یا «کار  $PV$ » نامیده می‌شود و از فرمول  $W = P\Delta V$  محاسبه می‌گردد، که در آن  $W$  کار انجام شده،  $P$  فشار ثابت و  $\Delta V$  تغییر حجم گاز است. این کار در اثر انبساط گاز و جابجایی پیستون صورت می‌گیرد.

### مفهوم کار فشار-حجم

- فشار ثابت: در این حالت، فشار وارد بر پیستون توسط گاز ثابت می‌ماند.
- انبساط گاز: وقتی گاز منبسط می‌شود، نیروی به پیستون وارد می‌کند و باعث جابجایی آن می‌شود.

طی شده وابسته است؛ یعنی اگر مسیر رفت و برگشت متفاوت باشد، کار کل انجام شده برابر صفر نخواهد بود. نیروی اصطکاک و نیروی مقاومت هوا از نمونه‌های قوه‌های غیر تحفظی هستند.

### تعریف و مثال‌ها

#### • قوه‌های تحفظی:

○ **تعریف:** کاری که این قواها انجام می‌دهند به هیچ وجه به مسیری که جسم طی می‌کند، بستگی ندارد. تنها نقطه آغازین و پایانی حرکت مهم است.

○ **مثال‌ها:**

**نیروی گرانش:** اگر جسمی را از نقطه A به نقطه B برسانیم، کار انجام شده توسط گرانش در این جابجایی، مستقل از مسیری است که طی می‌شود.

**نیروی فنر:** کار انجام شده بر روی یک فنر برای کشیدن یا فشرده کردن آن نیز یک نیروی تحفظی است.

**انرژی پایسته:** در سیستم‌های بسته که تنها قوه‌های تحفظی وجود دارند، انرژی کل سیستم پایسته می‌ماند.

#### قوه‌های غیر تحفظی:

• **تعریف:** کار انجام شده توسط این قواها به مسیر حرکت بستگی دارد. اگر یک جسم در یک مسیر بسته توسط یک نیروی غیر تحفظی حرکت کند، کار انجام شده می‌تواند صفر نباشد.

• **مثال‌ها:**

**نیروی اصطکاک:** نیروی اصطکاک یک نیروی غیر تحفظی است، زیرا به طول مسیر و مقدار اصطکاک بستگی دارد.

**مقاومت هوا:** در هنگام حرکت اجسام در هوا، مقاومت هوا نیز یک نیروی غیر تحفظی است و بخشی از انرژی جنبشی جسم را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند.

**اتلاف انرژی:** قوه‌های غیر تحفظی باعث اتلاف انرژی از سیستم و تبدیل آن به انواع دیگر انرژی مانند گرما می‌شوند.

### ● 9.- تحفظ انرژی میخانیکی

انون پایدستی انرژی مکانیکی بیان می‌کند که انرژی مکانیکی یک سیستم ایزوله (فقط تحت تأثیر نیروهای پایستار) ثابت می‌ماند؛ یعنی مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل در طول زمان تغییر نمی‌کند. این قانون تنها در صورتی برقرار است که نیروهای غیرپایستار مانند اصطکاک بر سیستم تأثیر نگذارند، زیرا در صورت وجود این نیروها، انرژی مکانیکی به شکل‌های دیگر مانند گرما تبدیل شده و سیستم از حالت پایدستی خارج می‌شود.

#### مفاهیم کلیدی

• **انرژی مکانیکی: ( $E_m$ )** مجموع انرژی جنبشی ( $E_k$ ) و انرژی پتانسیل ( $E_p$ ) در یک سیستم است.

○  $E_k = 1/2 mv^2$ : انرژی جنبشی ناشی از حرکت جسم.

○  $E_p$ : انرژی ذخیره‌شده ناشی از موقعیت جسم (مانند انرژی پتانسیل گرانشی یا کشسانی).

• **نیروهای پایستار:** نیروهایی مانند گرانش و نیروی فنر که کار انجام شده توسط آن‌ها فقط به موقعیت شروع و پایان بستگی دارد و به مسیر حرکت وابسته نیست.

• **نیروهای غیرپایستار:** نیروهایی مانند اصطکاک که انرژی مکانیکی سیستم را کاهش داده و آن را به گرما تبدیل می‌کنند.

#### قانون پایدستی انرژی مکانیکی

اگر یک سیستم ایزوله فقط تحت تأثیر نیروهای پایستار باشد، مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل آن همیشه ثابت باقی می‌ماند:

$$E_m = E_k + E_p = \text{ثابت}$$

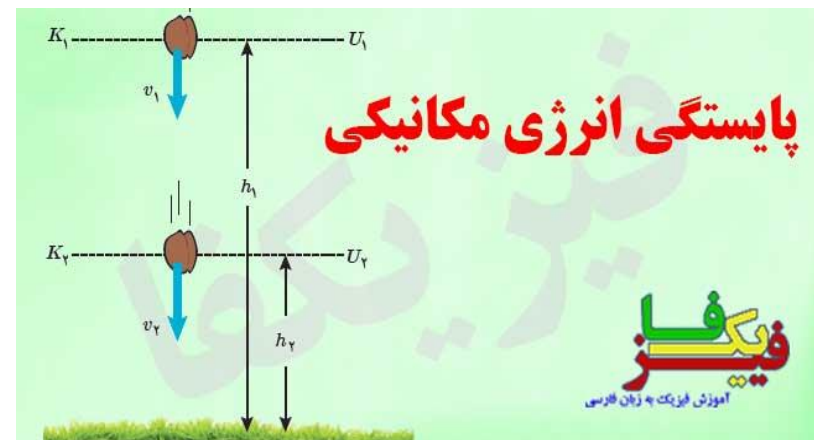
#### کاربردها و مثال‌ها

• **آونگ:** در یک آونگ ایده‌آل (بدون اصطکاک)، وقتی به بالاترین نقطه می‌رسد، انرژی جنبشی‌اش صفر و انرژی پتانسیلش بیشینه است. با پایین آمدن، انرژی پتانسیل به جنبشی تبدیل می‌شود.

• **جرم متصل به فنر:** هنگام رها شدن یک فنر فشرده، انرژی پتانسیل آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و مجموع آن‌ها در طول نوسان ثابت باقی می‌ماند.

### نکته مهم:

قانون پایستگی انرژی مکانیکی یک حالت خاص از قانون کلی تر پایستگی انرژی است. در واقع، انرژی کلی سیستم (شامل انرژی جنبشی، پتانسیل و حرارتی) همیشه پایسته است و در حضور نیروهای غیرپایستار، انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی تبدیل شده و از دست می‌رود، اما انرژی کلی حفظ می‌شود



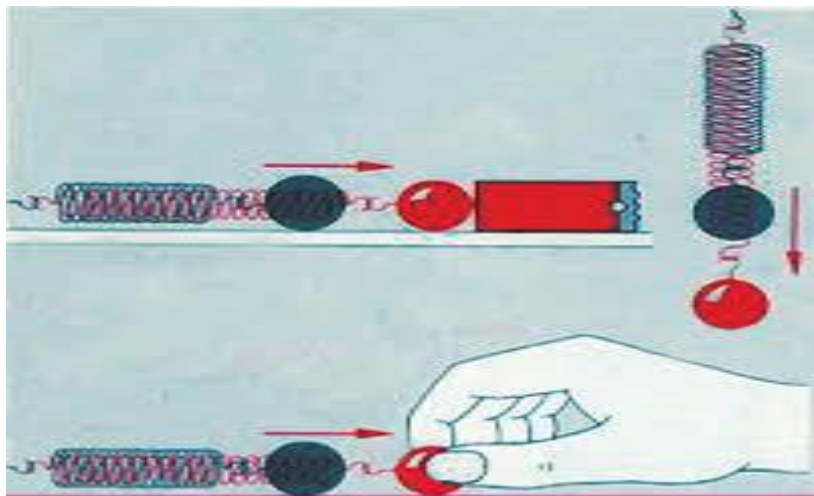
### ● 10.- کار انجام شده توسط قوه‌های غیر تحفظی

ار انجام شده توسط قوه‌های غیرحفظی (مانند نیروی اصطکاک) به مسیر حرکت وابسته است، یعنی با تغییر مسیر، مقدار کار تغییر می‌کند و انرژی در طول مسیر تلف می‌شود. این برخلاف قوه‌های حفظی است که مقدار کار انجام شده توسط آن‌ها مستقل از مسیر است و انرژی در سیستم حفظ می‌شود.

### ویژگی‌های کار قوه‌های غیرحفظی:

- وابستگی به مسیر: مقدار کار انجام شده توسط یک نیروی غیرحفظی به مسیری که جسم طی می‌کند، بستگی دارد.
- اتلاف انرژی: این قوه‌ها باعث اتلاف انرژی از سیستم می‌شوند.
- مثال:

○ **نیروی اصطکاک:** یکی از رایج‌ترین مثال‌های نیروی غیرحفظی است. اگر جسمی را روی یک سطح بکشید و دوباره به نقطه اول برگردانید، نیروی اصطکاک کاری مخالف جهت حرکت انجام می‌دهد و این انرژی به صورت گرما تلف می‌شود. اگر مسیر را تغییر دهید، مقدار کار اصطکاک نیز تغییر می‌کند



### ● 11.- توان

توان (Power) «در فیزیک به آهنگ انجام کار یا انتقال انرژی در واحد زمان گفته می‌شود. واحد اصلی توان در سیستم SI وات (W) «است که معادل یک «ژول بر ثانیه (J/s)» «است. توان بالا یعنی مقدار کار زیاد یا انرژی که در زمان کوتاهی انجام می‌شود.

### نحوه محاسبه توان در فیزیک:

توان از تقسیم مقدار کار انجام شده یا انرژی مبادله شده بر زمان انجام آن به دست می‌آید. فرمول آن به صورت زیر است:

$$P = W / t$$

یا

$$P = E / t$$

که در آن:

• P توان بر حسب وات (W) است.

• W کار انجام شده بر حسب ژول (J) است.

• E انرژی مبادله شده بر حسب ژول (J) است.

• t زمان انجام کار بر حسب ثانیه (s) است.

مثال:

لامپی که ۶۰ وات توان دارد، در هر ثانیه ۶۰ ژول انرژی مصرف می کند.

یكاهای دیگر توان:

• اسب بخار (hp) يكای دیگری برای توان که معادل ۷۴۶ وات است.

• وات (W) يكای اصلی و استاندارد توان است.

مثال: کوهنوردی با کتله 60 kg در مدت 4 ثانیه ارتفاع 4.5m را طی می کند. توان کوهنورد را بدست آورید. ( $g = 9.8 m/s^2$  فرض شود).

حل: ابتدا کار انجام شده توسط کوهنورد را بدست می آوریم:

$$w = m \cdot g \cdot h = (60 \text{ kg}) (9.8 m/s^2) (4.5 m) = 2646 \text{ J}$$

$$P = \frac{w}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{2646 J}{4s} = 661.5 w$$



## دوره یازدهم:

### اهداف آموزشی:

24. مومنتم خطی و امپولس

25. حرکت مستقیم الخط و امپولس (ضربه)

26. مومنتم

27. قوه و مومنتم

### 1. مومنتم خطی و امپولس

مومنتم (تکانه) خطی حاصل ضرب جرم در سرعت یک جسم است. برای سیستم‌هایی شامل چندین ذره، تکانه خطی برابر با مجموع تکانه‌های خطی هر ذره است. واژه «امپولس» که به معنای «تکانه» است، در این زمینه به مفهوم مومنتوم خطی مرتبط است.

مومنتوم (تکانه) خطی

• مفهوم اصلی: مومنتوم خطی معیاری است برای سنجش حرکت خطی یک جسم و به حاصل ضرب جرم آن جسم در سرعتش گفته می شود.

• فرمول:

$$p = mv$$

که در آن مومنتم

m جرم و v سرعت است

• سیستم ذرات: اگر سیستم از چندین ذره تشکیل شده باشد، تکانه خطی کل سیستم برابر با مجموع تکانه‌های خطی هر ذره است.

ارتباط «امپولس» با مومنتوم خطی

• واژه «امپولس»:

«امپولس (Impulse)» که در فارسی به معنی «ضربه» یا «تکانه» است، با تغییر در مومنتوم خطی یک جسم مرتبط است.

## • روابط فیزیکی :

امپولس برابر است با نیروی وارد شده بر جسم ضربدر مدت زمانی که نیرو اعمال می‌شود، و همچنین برابر با تغییر در مومنتوم خطی است :

$$\text{Impulse} = F \Delta t =$$

$$\text{Impulse} = F \Delta t = \Delta p$$



## 2:-- حرکت مستقیم الخط و امپولس (ضربه)

حرکت مستقیم الخط و امپالس (ضربه) دو مفهوم در فیزیک هستند که در کنار هم به بررسی تغییرات در حرکت اشیاء می‌پردازند. حرکت مستقیم الخط به حرکتی گفته می‌شود که در یک خط مستقیم و با سرعت ثابت یا شتاب ثابت رخ می‌دهد. در حالی که امپالس (ضربه) اندازه‌گیری تغییر تکانه یک جسم در اثر اعمال نیرو در یک بازه زمانی کوتاه است. به بیان ساده‌تر، امپالس به "ضربه‌ای" اشاره دارد که نیروی وارد بر جسم به آن وارد می‌کند و باعث تغییر در حرکت آن می‌شود.

### حرکت مستقیم الخط

• تعریف: حرکتی که در یک خط مستقیم رخ می‌دهد.

• انواع :

○ یکنواخت : با سرعت ثابت و شتاب صفر.

○ با شتاب : با سرعت متغیر در طول زمان.

• فرمول‌ها :

• تعریف :

تغییر در تکانه جسم در اثر اعمال یک نیرو.

• فرمول اصلی :

$$J = F \cdot \Delta t \quad (\text{امپالس برابر است با نیرو ضربدر زمان})$$

$$J = \Delta p \quad (\text{امپالس برابر است با تغییر تکانه})$$

امپالس برابر است با نیرو ضربدر زمان )

$$J = \Delta p$$

$$J = \Delta p$$

امپالس برابر است با تغییر تکانه

• رابطه با حرکت مستقیم الخط :

اگر یک جسم در حال حرکت مستقیم الخط باشد و نیروی (مانند ضربه) به آن وارد شود، تکانه جسم تغییر کرده و سرعت یا جهت حرکت آن تغییر می‌کند.

• مثال :

وقتی به توپ بیسبال ضربه می‌زنید، امپالس وارد شده باعث تغییر سرعت و جهت حرکت آن می‌شود. در حرکت مستقیم الخط، این تغییر با فرض اینکه نیرو در راستای حرکت اعمال شود، فقط سرعت را تغییر می‌دهد.

مثال: قوه‌ی 100N در مدت زمان 0,2 s بالای میخی اثر می‌کند. امپولس را محاسبه کنید.

$$F = 100N, \Delta t = 0,2s, I = ? \longrightarrow I = F \Delta t = (100N) \left( \frac{2}{10}s \right) = 20Ns$$

کابل دور دوم 94

$$\begin{cases} p_x = p \cdot \cos \alpha \\ p_y = p \cdot \sin \alpha \end{cases} \Rightarrow p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \quad \text{مومنتم در دو بُعد:}$$

مثال:

1 - کتله یک شتر با بار آن 500kg است و با سرعت 2m/s در حرکت است، مومنتم آن را حساب می‌کنیم.

حل:  $P = mV = 5 \times 10^2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 10^3 \text{ kg m/s}$

$\vec{p} = m\vec{v}$

#### 4- قوه و مومنتم

قوه و مومنتم (تکانه) دو مفهوم فیزیکی مرتبط هستند؛ قوه برابر با آهنگ تغییرات مومنتم بر حسب زمان است و مومنتم حاصل ضرب جرم در سرعت جسم می‌باشد. به عبارت ساده‌تر، مومنتم نشان‌دهنده "کمیت حرکت" یک جسم است و هرچه این کمیت بیشتر باشد، توقف آن جسم به نیروی بیشتری نیاز دارد.

##### • مومنتم (تکانه)

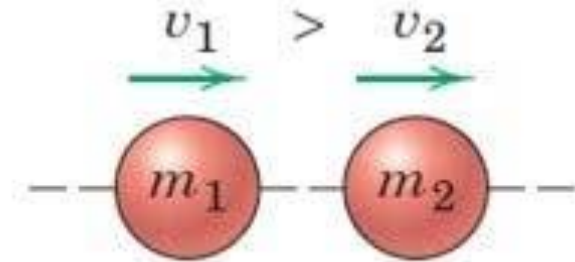
- یک کمیت برداری است که به حاصل ضرب جرم جسم در سرعت آن

$$p = mv$$

- درک آن با مثال سبد خرید پر و خالی که با سرعت یکسان حرکت می‌کنند، آسان‌تر می‌شود؛ سبد پر مومنتم بیشتری دارد و توقف آن سخت‌تر است.

##### • قوه (نیرو)

- بر اساس قانون دوم نیوتن، قوه برابر با آهنگ تغییرات مومنتم یک جسم بر حسب زمان است.
- این رابطه نشان می‌دهد که چگونه اعمال قوه باعث تغییر در مومنتم (و در نتیجه تغییر در سرعت) جسم می‌شود.



#### 3: مومنتم

مومنتم (momentum) "به معنی «تکانه» یا «اندازه حرکت» است و در فیزیک به کمیتی برداری گفته می‌شود که از ضرب جرم در سرعت جسم به دست می‌آید. این کمیت، مقدار حرکت یک جسم را اندازه‌گیری می‌کند و برای پیش‌بینی حرکت اجسام پس از برخورد، از آن استفاده می‌شود. در واقع، هرچه جسم سنگین‌تر یا سریع‌تر باشد، مومنتم بیشتری دارد.

##### • تعریف:

مومنتم برابر است با حاصل ضرب جرم در سرعت

$$p = m \cdot v$$

(واحد: در سیستم استاندارد بین‌المللی (SI)، واحد مومنتم کیلوگرم-متر بر ثانیه)

$\text{kg} \cdot \text{m/s}$  است.

##### • ماهیت:

مومنتم یک کمیتی برداری است، یعنی هم اندازه دارد و هم جهت.

##### • مثال:

توقف یک توپ با سرعت بالا به نیروی بیشتری نسبت به توقف یک تریلی با سرعت یکسان نیاز دارد، زیرا مومنتم بیشتری دارد.

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$

## مومنتم و قانون دوم نیوتن:

### دوره دوازدهم:

#### اهداف آموزشی:

28. قانون امپولس – مومنتم

29. ضربه و تحفظ مومنتم خطی

30. تصادم ارتجاعی

31. تصادم غیر ارتجاعی

32. مرکز ثقل

### 1. قانون امپولس – مومنتم

#### ۱. تعریف مومنتم (Momentum)

مومنتم یا اندازه حرکت، حاصل ضرب جرم جسم در سرعت آن است. این کمیت، مقدار حرکت جسم را نشان می‌دهد.

$$p = m \times v$$

که در آن:

•  $p$ : مومنتم ( $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ )

•  $m$ : جرم جسم ( $\text{kg}$ )

•  $v$ : سرعت جسم ( $\text{m/s}$ )

✓ مومنتم یک کمیت برداری است، یعنی دارای اندازه و جهت می‌باشد. جهت مومنتم، همان جهت حرکت جسم است.

#### ۲. تعریف امپولس (Impulse)

امپولس یا ضربه حاصل ضرب قوه در زمان تأثیر آن است.

$$J = F \times t$$

که در آن:

•  $J$ : امپولس ( $\text{N} \cdot \text{s}$  یا  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ )

•  $F$ : قوه وارد شده ( $\text{N}$ )

•  $t$ : زمان تأثیر قوه ( $\text{s}$ )

امپولس نیز برداری است و در جهت قوه عمل می‌کند

#### ۳. قانون امپولس و مومنتم

طبق این قانون:

امپولس وارد بر جسم مساوی است با تغییر در مومنتم جسم.

$$p_1 - p_2 = \Delta p = J$$

یا به صورت مفصل:

$$mv_1 - mv_2 = t \times F$$

یعنی هرگاه بر جسمی در مدت زمانی قوه‌ای وارد شود، مومنتم آن تغییر می‌کند.

◆ ۵. ارتباط میان امپولس و تغییر مومنتم

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$$

از این رابطه می‌بینیم که اگر تغییر مومنتم در زمان کوتاهی رخ دهد، قوه بسیار زیاد است (مانند تصادف شدید).

◆ ۶. مثال‌ها

مثال ۱:

توپ به جرم  $0.5 \text{ kg}$  با سرعت  $10 \text{ m/s}$  حرکت دارد. اگر توقف کند، تغییر مومنتم چند است؟

$$\Delta p = m(v_2 - v_1) = 0.5(0 - 10) = -5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$



علامت منفی نشان‌دهنده کاهش مومنتم است.

## 2. ضربه و تحفظ مومنتم خطی

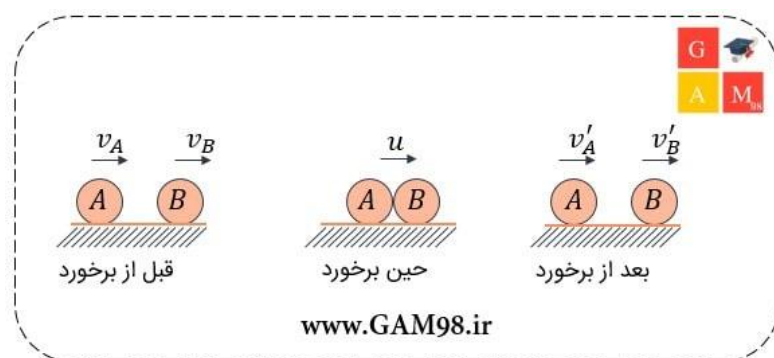
ضربه و تحفظ مومنتم خطی "به معنای قانون بقای تکانه خطی است که بیان می‌کند تکانه کل یک سیستم بسته (بدون نیروی خارجی) ثابت می‌ماند. تکانه خطی برابر با حاصل ضرب جرم در سرعت خطی است و یک کمیت برداری محسوب می‌شود، یعنی هم اندازه و هم جهت دارد. این قانون در برخوردها، واکنش‌های شیمیایی و حرکت موشک‌ها کاربرد دارد؛ به عنوان مثال، در برخورد دو ذره، مجموع تکانه دو ذره قبل از برخورد برابر با مجموع تکانه آن‌ها پس از برخورد است.

### توضیحات تکمیلی

- تکانه خطی: تکانه یک جسم در حرکت خطی است. این کمیت یک بردار است، به این معنی که هم دارای اندازه و هم جهت است.
- قانون بقای تکانه خطی: این قانون بیان می‌کند که اگر نیروی خارجی خالص وارد بر یک سیستم صفر باشد، تکانه کل آن سیستم ثابت می‌ماند. به عبارت دیگر، تکانه قبل و بعد از یک رویداد (مانند برخورد) یکسان است.
- مثال‌ها:

○ شلیک گلوله: هنگام شلیک گلوله از تفنگ، گلوله با سرعت بالا به سمت جلو حرکت می‌کند و تفنگ با سرعت عقب‌نشینی به عقب حرکت می‌کند. تکانه کل سیستم (گلوله + تفنگ) در هر دو حالت صفر است، زیرا تکانه گلوله و تفنگ در جهت‌های مخالف و با اندازه‌های برابر (با توجه به جرم‌هایشان) هستند.

○ راکت: در هنگام پرتاب، تکانه کل راکت و سوخت آن صفر است. گازهای خروجی به سمت پایین و با سرعتی مشخص خارج می‌شوند، که این عمل باعث حرکت رو به بالای راکت می‌شود. تکانه کل سیستم ثابت می‌ماند چون تکانه گازهای خروجی در یک جهت با تکانه راکت در جهت دیگر برابر است



## 3. تصادم ارتجاعی

### ۱. تعریف تصادم (Collision)

هرگاه دو جسم باهم برخورد کنند و در نتیجه برخورد، بر یک‌دیگر قوه وارد نمایند، به این پدیده تصادم یا برخورد گفته می‌شود.

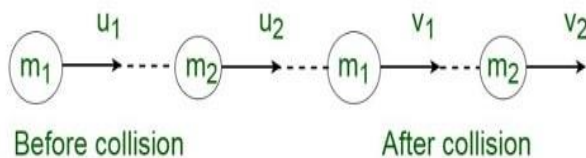
در هنگام تصادم، مومنتم اجسام تغییر می‌کند و در بعضی موارد انرژی جنبشی نیز تغییر می‌یابد

### ۲. انواع تصادم

تصادم‌ها به دو نوع عمده تقسیم می‌شوند:

#### ۱. تصادم ارتجاعی (Elastic Collision)

#### ۲. تصادم غیرارتجاعی (Inelastic Collision)



One-Dimensional or Head-on Collision

#### ● 4: تصادم غیر ارتجاعی

صدام غیر ارتجاعی (inelastic collision) تصادمی است که در آن قانون پایستگی تکانه برقرار است اما قانون پایستگی انرژی مکانیکی برقرار نیست؛ یعنی بخشی از انرژی جنبشی سیستم به اشکال دیگر انرژی مانند گرما، صدا یا تغییر شکل تبدیل می‌شود. در این نوع تصادم، اشیاء ممکن است پس از برخورد به هم بچسبند و با سرعت واحد حرکت کنند، اگرچه همیشه این‌طور نیست.

ویژگی‌های تصادم غیر ارتجاعی:

##### • پایستگی تکانه:

قانون پایستگی تکانه در تمام انواع تصادم‌ها، چه ارتجاعی و چه غیر ارتجاعی، برقرار است.

##### • عدم پایستگی انرژی جنبشی:

انرژی جنبشی کل سیستم پس از برخورد کاهش می‌یابد.

##### • تبدیل انرژی:

انرژی جنبشی به صورت گرما، صدا، و یا انرژی درونی (مثل تغییر شکل اجسام) از دست می‌رود.

##### • مثال:

برخورد دو گلوله که به هم می‌خورند و با هم حرکت می‌کنند، یا برخورد یک ماشین با یک مانع که باعث فرو رفتگی و تغییر شکل می‌شود.

تفاوت با تصادم کاملاً غیر ارتجاعی:

##### • تصادم غیر ارتجاعی:

فقط بخشی از انرژی جنبشی تلف می‌شود. اشیاء ممکن است پس از برخورد به هم نچسبند.

#### ◆ ۳. تعریف تصادم ارتجاعی

اگر در هنگام برخورد دو جسم:

- مجموع مومنتم خطی سیستم محفوظ بماند، و
  - مجموع انرژی جنبشی نیز بعد از برخورد همان مقدار قبل از برخورد باقی بماند،
- در این صورت به آن تصادم ارتجاعی (Elastic Collision) گفته می‌شود.

به عبارت ساده‌تر:

در تصادم ارتجاعی، نه مومنتم از بین می‌رود و نه انرژی جنبشی به گرما، صدا یا تغییر شکل دائمی تبدیل می‌شود.

#### ◆ ۴. قانون‌های مؤثر در تصادم ارتجاعی

در هر تصادم ارتجاعی دو قانون مهم برقرار است:

[1] قانون تحفظ مومنتم خطی

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

[2] قانون تحفظ انرژی جنبشی

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

در این فرمول‌ها:

- $m_1, m_2$ : جرم اجسام
- $v_1, v_2$ : سرعت‌های اولیه قبل از تصادم
- $v_1', v_2'$ : سرعت‌های نهایی بعد از تصادم

$$\frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = x_{cm}$$

همچنین برای محور  $y$  یا سایر محورها مشابه است

### حالت اجسام منظم

برای اجسام هندسی منظم (مثلاً مکعب، استوانه، صفحه چندضلعی یکنواخت) مرکز ثقل معمولاً در تقاطع محورهای تقارن آنها قرار دارد. مثال: مرکز ثقل یک صفحه مستطیل یکنواخت در مرکز هندسی آن است. (در کتاب قبلی این بحث آمده بود)

### حالت اجسام منظم

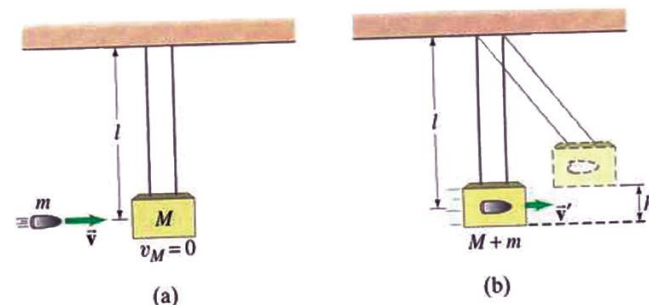
برای اجسام هندسی منظم (مثلاً مکعب، استوانه، صفحه چندضلعی یکنواخت) مرکز ثقل معمولاً در تقاطع محورهای تقارن آنها قرار دارد. مثال: مرکز ثقل یک صفحه مستطیل یکنواخت در مرکز هندسی آن است. (در کتاب قبلی این بحث آمده بود)

### نکات مهم

- اگر محور اتکای جسم وسیع‌تر باشد و مرکز ثقل جسم پایین‌تر قرار گیرد، جسم پایدارتر است. [Scribd+1](#)
- حالت‌های تعادل برای اجسام: پایدار، بی‌تفاوت، ناپایدار. وضعیت مرکز ثقل نسبت به سطح اتکا در تعریف این حالت‌ها مهم است [Scribd+1](#).
- وقتی جسمی آزادانه آویزان باشد، نقطه‌ای که همواره زیر آن قرار می‌گیرد و جسم پس از نوسان به آن می‌رود، همان مرکز ثقل است.

### • تصادم کاملاً غیر ارتجاعی: (completely inelastic collision)

حداکثر میزان انرژی جنبشی ممکن تلف می‌شود و اجسام پس از برخورد به یکدیگر می‌چسبند و با یک سرعت واحد حرکت می‌کنند. این حالت شدیدترین نوع تصادم غیر ارتجاعی است.



### 5-: مرکز ثقل

#### تعریف

مرکز ثقل (Center of gravity) جسم، نقطه‌ای فرضی است که اگر تمام وزن جسم در آن فرض شود، رفتار آن جسم در میدان گرانش همانند زمان واقعی خواهد بود [Scribd+2](#). به عبارت دیگر، این نقطه نشان می‌دهد که «وزن» جسم به صورت متمرکز در آن نقطه عمل می‌کند

#### فرمول‌ها

#### حالت «سیستم از ذرات یا اجسام»

اگر چند جرم  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  داشته باشیم که روی یک محور (مثلاً  $x$ -محور) قرار دارند و مختصات آنها به ترتیب  $x, x_1, x_2, \dots, x_n$  باشد، مرکز ثقل  $X_{cm}$  آن سیستم را می‌توان اینگونه به دست آورد

$$\frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = x_{cm}$$



## دوره سیزدهم:

### اهداف آموزشی :

1. ستاتیک سیالها (سکون نسبی سیالها)
2. سیالها
3. فشار سیالها
4. اندازه گیری فشار مایع
5. رابطه بین فشار و عمق در يك نقطه معین مایع
6. فشار اتموسفیر
7. تغییر فشار بالای جسم شما
8. اندازه گیری فشار در مایعات محصور شده
9. مونومتر دهن باز
10. آله فشار سنج نوع خوردن
11. انتقال فشار در سیالها
12. قانون ارشمیدس

### ● 1. ستاتیک سیالها (سکون نسبی سیالها)

### 🌊 ستاتیک سیالها (سکون نسبی سیالها)

### ◆ تعریف سیال:

سیال به موادی گفته می شود که می توانند جاری شوند و شکل ظرف خود را بگیرند.  
سیالها شامل مایعات و گازها می باشند.

مایع حجم معین دارد ولی شکل آن ثابت نیست، در حالی که گازها نه حجم معین دارند و نه شکل ثابت.

### ◆ ستاتیک سیالها چیست؟

ستاتیک سیالها (Statics of Fluids) بخشی از فزیک است که رفتار و خواص سیالها در حالت سکون را بررسی می کند، یعنی زمانی که سیال در حرکت نیست.  
در این حالت، نیروهایی که در داخل مایع وجود دارند، باعث ایجاد فشار در مایع می گردند.

### مفهوم فشار در سیالها:

وقتی مایع در ظرفی در حالت سکون باشد، مولکولهای آن به دلیل وزن خود به طبقات پایین تر فشار وارد می کنند.

فشار در مایع در اثر وزن ستون مایع بالای آن نقطه به وجود می آید.

فرمول فشار در سیالها چنین است:

$$\frac{F}{A} = P$$

که در آن:

- P-فشار
- F-نیرو
- A-سطحی که نیرو بر آن وارد می شود

واحد فشار در سیستم بین المللی پاسکال (Pa) است

### فشار در مایع در حالت سکون:

در یک نقطه از مایع ساکن، فشار در تمام جهات یکسان است.  
یعنی اگر جسم کوچکی را در مایع قرار دهیم، در تمام جهات از طرف مایع بر آن به صورت مساوی فشار وارد می شود.

### ◆ رابطه فشار با عمق:

هر چه در مایع پایین تر برویم، فشار زیادتر می شود.  
رابطه فشار با عمق از فرمول زیر به دست می آید

$$\rho gh = P$$

از این فرمول معلوم می‌شود که فشار مایع فقط به چگالی مایع و عمق آن بستگی دارد، نه به شکل ظرف

که در آن:

- $P$ : فشار در عمق  $h$
- $\rho$ : چگالی مایع ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$ : شتاب جاذبه زمین ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )
- $h$ : عمق مایع (m)

♦ فشار اتموسفیری:

هوایی که اطراف زمین را احاطه کرده، دارای وزن است و بر سطح زمین فشار وارد می‌کند. به این فشار، فشار اتموسفیری (Atmospheric Pressure) گفته می‌شود. در سطح دریا مقدار آن تقریباً برابر است با:

$$Pa^{510} \times 1.013 = atm 1$$

اهمیت مطالعه ستاتیک سیال‌ها:

مطالعه‌ی ستاتیک سیال‌ها در زندگی روزمره و تکنیک بسیار مهم است. از جمله در:

- طراحی بندها و سدها
- کارکرد ترمزهای موتر (اصل پاسکال)
- آله‌های فشارسنج
- وسایل غواصی و زیرآبی

⚡ نتیجه‌گیری:

ستاتیک سیال‌ها بخشی از فیزیک است که رفتار و فشار سیال‌های در حال سکون را بررسی می‌کند.

فشار در مایع با عمق و چگالی مایع متناسب است و در یک نقطه از مایع ساکن در تمام جهات مساوی می‌باشد

**مثال:**

فشار وارده توسط یک کتابی که دارای مساحت  $0.16 \text{ m}^2$  و وزن آن  $8 \text{ N}$  می‌باشد، چند است؟ حساب می‌کنیم.

**حل:**

مرحله (1): معلومات ذیل داده شده‌اند:  $A = 0.16 \text{ m}^2$

$$F = 8 \text{ N}$$

$$P = ?$$

مرحله (3) با وضع نمودن قیمت‌های داده شده مساحت و قوه، قیمت  $P$  را حساب کنید.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{8}{0.16} = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 50 \text{ Pa}$$

2.- سیالها

سیال‌ها (Fluids)

♦ تعریف:

سیال به آن نوع ماده گفته می‌شود که می‌تواند جاری شود و شکل ظرف خود را بگیرد. سیال‌ها شامل مایعات (Liquids) و گازها (Gases) می‌باشند.

به عبارت دیگر، سیال‌ها موادی‌اند که در برابر نیروی برشی مقاومت نکرده و به راحتی حرکت می‌کنند.

♦ انواع سیال‌ها:

1. مایعات:

مایعات حجم معین دارند، اما شکل معین ندارند.

مثال: آب، شیر، تیل.

○ مایعات در ظرف، قسمت پایین را پر می‌کنند و سطح آزاد (سطح هموار) دارند.

○ چگالی مایعات نسبتاً زیاد است.

## 2. گازها:

گازها نه حجم معین دارند و نه شکل ثابت.  
مثال: هوا، بخار، اکسیجن.

- گازها تمام فضای ظرف را اشغال می کنند.
- چگالی آن ها بسیار کم است.

## ♦ ویژگی های مهم سیال ها:

1. سیال ها جاری می شوند و شکل ظرف خود را می گیرند.
2. در حالت سکون، فشار در تمام جهات یک نقطه در مایع برابر است.
3. در مایع، فشار با افزایش عمق زیاد می شود.
4. در گازها، فشار به دلیل برخورد ذرات گاز به دیواره های ظرف ایجاد می گردد.
5. سیال ها در مقابل نیروی برشی مقاومت نمی کنند.

## ♦ رفتار سیال ها در حالت سکون:

وقتی سیال در حالت سکون باشد، آن را در شاخه ای از فیزیک به نام **ستاتیک سیال ها (Statics of Fluids)** مطالعه می کنند.  
در این حالت، فشار در داخل سیال به صورت مساوی در همه جهات وارد می شود.

## ♦ رفتار سیال ها در حالت حرکت:

وقتی سیال در حال حرکت باشد، آن را در شاخه ای به نام **دینامیک سیال ها (Dynamics of Fluids)** بررسی می کنند.  
در این حالت، سرعت و فشار سیال در نقاط مختلف ممکن است متفاوت باشد.

## ♦ اهمیت سیال ها در زندگی روزمره:

مطالعه ی سیال ها در علوم و تکنیک اهمیت زیادی دارد.  
نمونه هایی از کاربرد سیال ها:

- کارکرد پمپ های آب و ترمزهای موتور (انتقال فشار در مایع)
- پرواز طیاره ها (به سبب فشار هوا)
- حرکت کشتی ها و زیردریایی ها (نیروی شناوری)
- سیستم های آبرسانی و ذخیره نفت



## ● 3: فشار سیال ها

### 🌊 فشار سیال ها (Pressure in Fluids)

#### ♦ تعریف:

وقتی سیال (مایع یا گاز) در ظرفی قرار دارد، ذرات آن بر دیواره های ظرف و اجسامی که درون آن قرار دارند نیرو وارد می کنند.  
این نیرو بر هر واحد سطح، فشار (**Pressure**) نامیده می شود.

#### ♦ فرمول فشار:

فشار را می توان با فرمول زیر بیان کرد:

$$\frac{F}{A} = P$$

که در آن:

- P- فشار
- F- نیرو
- A- مساحت سطحی که نیرو بر آن وارد می شود

واحد فشار در سیستم بین المللی: (SI)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

یعنی یک پاسکال برابر است با نیروی یک نیوتن بر هر متر مربع سطح

♦ فشار در مایعات:

مایع ها به علت وزن خود بر قسمت های پایین تر خود فشار وارد می کنند. هرچه عمق بیشتر شود، فشار نیز زیادتر می گردد. این فشار را می توان با فرمول زیر محاسبه کرد:

♦ فشار در مایعات:

مایع ها به علت وزن خود بر قسمت های پایین تر خود فشار وارد می کنند. هرچه عمق بیشتر شود، فشار نیز زیادتر می گردد. این فشار را می توان با فرمول زیر محاسبه کرد:

$$pgh = P$$

که در آن:

- P: فشار در عمق h
- ρ: چگالی مایع (kg/m<sup>3</sup>)
- g: شتاب جاذبه (9.8 m/s<sup>2</sup>)
- h: عمق از سطح مایع (m)

مثال

یک آب باز، در عمق 400m در تحت بحر به طور افقی شنا می کند. هرگاه کثافت آب بحر  $1.025 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$ ،  $P_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  و  $g = 9.8 \frac{m}{sec^2}$  باشد، حساب کنید.

- 1 - فشار داخلی  $P_G$  را در این عمق.
- 2 - فشار متوسط را در این عمق.
- 3 - مجموع قوه های وارده بالای جسم شنا کننده توسط آب را در صورتی که مساحت جسم شنا کننده  $0.8 \text{ m}^2$  باشد.

حل

- 1

$$P_G = \rho gh$$

$$P_G = 1.025 \times 10^3 \times 9.8 \times 400$$

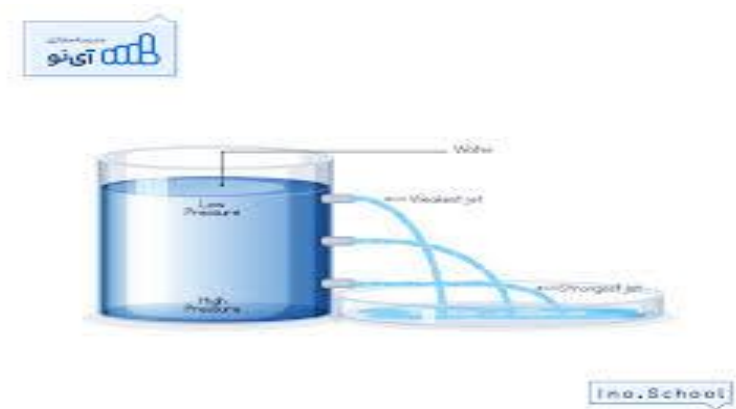
$$P_G = 4.018 \times 10^6 \text{ Pa}$$

♦ ۴. اندازه گیری فشار مایع

اندازه گیری فشار مایع (Measurement of Liquid Pressure)

♦ تعریف:

مایعات در اثر وزن خود بر طبقات پایین تر فشار وارد می کنند. برای اینکه مقدار این فشار را بدانیم، باید آن را اندازه گیری کنیم. اندازه گیری فشار مایع یکی از بخش های مهم در ستاتیک سیال ها (سکون نسبی سیال ها) است



5- رابطه بین فشار و عمق در یک نقطه معین مایع

رابطه بین فشار و عمق در یک نقطه معین مایع

◆ مقدمه:

وقتی مایع در ظرفی قرار دارد، به دلیل وزن خود بر طبقات پایین‌تر فشار وارد می‌کند. هر چه در مایع پایین‌تر برویم، فشار بیشتر می‌شود.

این پدیده را در فیزیک با رابطه بین فشار و عمق در مایع توضیح می‌دهند

چگونگی تغییر فشار با عمق:

در مایع ساکن، ذرات بالایی بر ذرات پایینی فشار وارد می‌کنند.

بنابراین، در عمق بیشتر، مقدار مایع بالای آن نقطه زیادتر است و فشار نیز بیشتر می‌شود.

اگر نقطه‌ای در عمق  $h$  از سطح آزاد مایع انتخاب شود، فشار در آن نقطه از رابطه زیر به دست می‌آید:

◆ در این رابطه:

- $P$ : فشار در عمق  $h$  (پاسکال)
- $\rho$ : چگالی مایع (کیلوگرم بر متر مکعب)
- $g$ : شتاب جاذبه زمین (تقریباً  $9.8 \text{ m/s}^2$ )
- $h$ : عمق از سطح آزاد مایع (متر)

نتیجه‌های مهم از این رابطه:

1. فشار با عمق رابطه مستقیم دارد.

یعنی هرچه عمق زیادتر شود، فشار نیز بیشتر می‌گردد.

2. فشار به چگالی مایع بستگی دارد.

مثلاً در آب فشار کمتر و در جیوه (که چگال‌تر است) فشار بیشتر می‌باشد.

3. فشار به سطح یا شکل ظرف بستگی ندارد.

در یک عمق معین از هر ظرف، اگر مایع یکسان باشد، فشار یکسان است.

4. در یک نقطه از مایع ساکن، فشار در تمام جهات مساوی است

◆ مثال عددی:

اگر عمق آب  $h = 4 \text{ m}$ ، چگالی  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  و  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  باشد،  
فشار در آن عمق برابر است با:

$$Pa \ 39200 = (4)(9.8)(1000) = \rho gh = P$$

پس فشار در عمق ۴ متر آب، ۳۹،۲۰۰ پاسکال است.

6- فشار اتموسفیر

◆ تعریف اتموسفیر

اطراف زمین را لایه‌های گازها احاطه کرده‌اند که به آن اتموسفیر (جو زمین) گفته می‌شود. این لایه‌ها از هوا ساخته شده‌اند و شامل گازهای نایتروجن (۸۰٪)، اکسیژن (۲۰٪) و مقدار کمی از سایر گازها مانند کاربن‌دای‌اکساید، آرگون و بخار آب هستند.

◆ تعریف فشار اتموسفیر

فشار اتموسفیر عبارت است از فشاری که هوا به سبب وزن خود بر سطح زمین و اجسام موجود در آن وارد می‌کند.

به عبارت

دیگر:

هوا نیز مانند هر سیال دیگر وزن دارد، و به همین دلیل به اجسام اطراف خود فشار وارد می‌کند. این فشار را فشار اتموسفیر می‌گویند.

- فشار اتموسفیر در پیش‌بینی وضعیت هوا (آب‌وهوا) نیز نقش مهم دارد.

7 ● :- تغییر فشار بالای جسم شما

#### مقدمه

ما در اتموسفیر زندگی می‌کنیم و در اطراف ما مقدار زیادی هوا وجود دارد. هوا دارای وزن است و به دلیل وزن خود، بر هر جسم در اطرافش فشار وارد می‌کند. این فشار را فشار اتموسفیر می‌گویند. اما این فشار در همه‌جا یکسان نیست؛ بلکه با تغییر ارتفاع یا تغییر محیط، مقدار فشار بالای جسم نیز تغییر می‌کند. به همین دلیل، وقتی انسان از سطح دریا به کوه‌ها بالا می‌رود، فشار هوا کمتر احساس می‌شود.

#### ♦ علت تغییر فشار بالای جسم

فشار بالای جسم به مقدار هوای بالای آن جسم وابسته است. هرچه هوای بالای جسم بیشتر باشد، فشار زیادتر می‌باشد. و هرچه هوای بالای جسم کمتر شود، فشار نیز کاهش می‌یابد.

پس:

- در سطح دریا → فشار زیاد است.
- در بلندی‌ها (مانند قله کوه) → (فشار کم است).

#### ♦ ارتباط فشار و ارتفاع

هرگاه از سطح زمین به طرف بالا حرکت کنیم، مقدار هوای بالای سر ما کمتر می‌شود. در نتیجه، وزن هوا و فشار آن کاهش می‌یابد.

#### به‌طور خلاصه:

با افزایش ارتفاع، فشار اتموسفیر کاهش می‌یابد. \text{با افزایش ارتفاع، فشار اتموسفیر کاهش می‌یابد.}

#### ♦ علت به‌وجود آمدن فشار اتموسفیر

هرچه از سطح زمین به بالا برویم، مقدار هوایی که در بالای سر ما قرار دارد کمتر می‌شود، بنابراین فشار اتموسفیر در ارتفاعات کاهش می‌یابد.

پس:

- در سطح دریا فشار اتموسفیر زیاد است.
- در قله کوه‌ها فشار اتموسفیر کمتر می‌باشد.

#### ♦ اندازه فشار اتموسفیر در سطح دریا

در سطح بحر (دریا)، فشار اتموسفیر به‌طور اوسط برابر است با:

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mm}$$

این یعنی در سطح دریا، ستون هوایی به ارتفاع چندین کیلومتر، به هر سانتی‌متر مربع از سطح زمین، فشار معادل ستون جیوه‌ای به ارتفاع ۷۶ سانتی‌متر وارد می‌کند.

#### ♦ دستگاه اندازه‌گیری فشار اتموسفیر

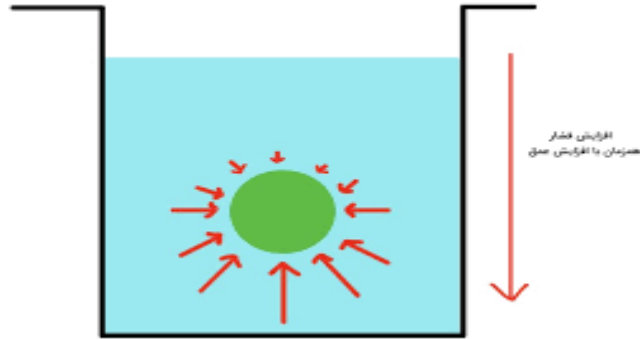
برای اندازه‌گیری فشار اتموسفیر از بارومتر (Barometer) استفاده می‌شود.

#### ♦ بارومتر جیوه‌ای:

بارومتر جیوه‌ای نخستین بار توسط توریچلی (Torricelli) در سال 1643 میلادی ساخته شد. او لوله‌ای را پر از جیوه کرد و آن را در ظرف جیوه برعکس نمود. جیوه در لوله پایین آمد تا ارتفاع آن به حدود ۷۶ سانتی‌متر رسید. این ارتفاع معیاری برای فشار اتموسفیر در سطح دریا است.

#### ♦ تغییرات فشار اتموسفیر

- فشار اتموسفیر با افزایش ارتفاع کم می‌شود.
- فشار اتموسفیر با افزایش رطوبت یا دما نیز تغییر می‌کند.



● 8:- اندازه گیری فشار در مایعات محصور شده

• اصل پاسکال (Pascal's Law) ♦

• بیان قانون:

وقتی بر مایع محصور در ظرف بسته فشار وارد شود، این فشار به طور مساوی در تمام جهات و بر تمام قسمت‌های مایع و دیواره‌های ظرف منتقل می‌گردد.

$$\frac{F}{A} = P$$

• فرمول:

اصل پاسکال:

هرگاه بر مایع محصور فشار وارد شود، این فشار به طور مساوی در تمام جهات به تمام نقاط مایع و به دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.

♦ مثال روزمره:

1. ترمزهای هیدرولیکی موتورها (ماشین‌ها)
  2. جک‌های هیدرولیکی برای بلند کردن موتورها
  3. مطبوعات هیدرولیکی در کارگاه‌ها
- در تمام این وسایل از انتقال فشار در مایعات محصور استفاده می‌شود.

♦ وسایل اندازه‌گیری فشار در مایعات:

برای اندازه‌گیری فشار در مایعات، از وسایلی چون:

♦ اثر تغییر فشار بالای جسم

1. در ارتفاعات بلند، فشار اتموسفر کمتر است، بنابراین:
  - نفس کشیدن مشکل‌تر می‌شود (هوا رقیق‌تر است)
  - آب در دمای پایین‌تر از 100 درجه سانتی‌گراد می‌جوشد.
2. در سطح دریا، فشار زیادتر است، بنابراین:
  - اجسام بیشتر تحت تأثیر وزن هوا قرار دارند.
  - آب در 100 درجه سانتی‌گراد می‌جوشد.

♦ مثال‌ها

- اگر یک کوهنورد به قله کوه بالا برود، احساس می‌کند که نفس‌گیری دشوار شده است، چون فشار هوای اطراف او کم شده است.
- در هواپیما، چون فشار هوا بسیار پایین است، داخل کابین را پرفشارتر نگه می‌دارند تا انسان بتواند راحت نفس بکشد.

♦ نتیجه‌گیری

فشار بالای جسم در اثر وزن هوای بالای آن به وجود می‌آید. هرچه مقدار هوا بالای جسم بیشتر باشد، فشار زیادتر است، و هرچه مقدار هوا کمتر شود (مثل در ارتفاعات)، فشار کاهش می‌یابد.

## 1. مانومتر (Manometer)

## 2. گیج فشار (Pressure Gauge) استفاده می‌شود.

### ◆ مانومتر چیست؟

مانومتر لوله‌ای است که معمولاً به شکل U ساخته می‌شود و مقداری مایع (مثل جیوه یا آب) در داخل آن قرار دارد. یک سر لوله به محل فشار مورد نظر وصل می‌شود و سر دیگر آن باز است یا به فشار معلوم (مانند فشار هوا) ارتباط دارد. اختلاف ارتفاع سطح مایع در دو بازوی لوله، مقدار فشار را نشان می‌دهد.

### ● 9:- مونومتر دهن باز

## مانومتر دهان باز (Open-End Manometer)

### تعریف:

مانومتر دهان باز وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری فشار گازها یا مایعات در ظروف بسته استفاده می‌شود. این وسیله از یک لوله شیشه‌ای به شکل (U) تشکیل شده است که مقداری مایع (مانند جیوه یا آب) در داخل آن وجود دارد.

### ◆ ساختمان مانومتر دهان باز:

1. لوله U شکل معمولاً از شیشه ساخته می‌شود.
  2. در داخل آن مایعی مثل جیوه (Hg) یا آب ریخته می‌شود.
  3. یک سر لوله به ظرف گاز یا مایع مورد آزمایش وصل می‌شود.
  4. سر دیگر لوله به هوای آزاد (اتمسفر) باز است.
- به همین دلیل آن را «مانومتر دهان باز» می‌نامند.

### ◆ طرز کار:

وقتی گاز در ظرف به مانومتر وصل شود، فشار گاز بر سطح مایع در بازوی مربوطه اثر می‌گذارد و سطح مایع را در آن طرف پایین و در بازوی بالا می‌برد (یا برعکس) اختلاف ارتفاع سطح مایع در دو بازو مقدار فشار گاز را نشان می‌دهد.

### ◆ حالات مختلف:

#### 1. وقتی فشار گاز برابر با فشار اتمسفر باشد:

- سطح مایع در هر دو بازو در یک سطح است.
- بنابراین

$$P_{atm} = P_{gas}$$

. وقتی فشار گاز بیشتر از فشار اتمسفر باشد:

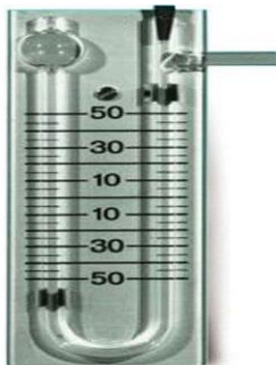
- سطح مایع در بازوی متصل به گاز پایین‌تر و در بازوی بالاتر است.
- در این حالت:

$$h\rho g + P_{atm} = P_{gas}$$

. وقتی فشار گاز کمتر از فشار اتمسفر باشد:

- سطح مایع در بازوی متصل به گاز بالاتر و در بازوی پایین‌تر است.
- در این حالت:

$$h\rho g - P_{atm} = P_{gas}$$



## 10:- آلۀ فشار سنج نوع بوردن

### آلۀ فشارسنج نوع بوردن (Bourdon Gauge)

#### تعریف:

آلۀ فشارسنج نوع بوردن یکی از وسایل بسیار مشهور و مهم برای اندازه گیری فشار گازها و مایعات است.

این آلۀ بر اساس تبدیل فشار به حرکت مکانیکی کار می کند و معمولاً در کارخانه ها، تانک های گاز، ماشین ها و وسایل صنعتی استفاده می شود

#### ساختمان فشارسنج بوردن:

آلۀ بوردن از چند بخش اصلی ساخته شده است:

#### 1. لولۀ بوردن: (Bourdon Tube)

لوله ای فلزی و توخالی است که به شکل قوسی یا هلالی (C شکل) خم شده است. این لوله یک سرش بسته است و سر دیگرش به گاز یا مایع دارای فشار وصل می شود.

#### 2. دستگاه انتقال حرکت:

از اهرم ها (levers) و دنده ها (gears) ساخته شده است که حرکت سر آزاد لوله را به عقربه منتقل می کند.

#### 3. عقربه و صفحه مدرج:

در بیرون آلۀ صفحه ای مدرج (با واحدهای فشار مانند پاسکال یا بار) وجود دارد که عقربه روی آن می چرخد و مقدار فشار را نشان می دهد

#### طرز کار:

وقتی فشار گاز یا مایع داخل لوله بوردن وارد شود، لوله تمایل پیدا می کند که باز یا مستقیم شود، زیرا فشار داخلی بر دیواره های آن اثر می گذارد.

این حرکت مکانیکی کوچک از طریق اهرم ها و دنده ها به عقربه منتقل می شود. عقربه بر روی صفحه مدرج حرکت کرده و مقدار فشار را نشان می دهد

#### نکته مهم:

- هرقدر فشار داخل لوله زیادتر شود، خمیدگی لوله کمتر (بازتر) می گردد.
  - هرقدر فشار کمتر شود، لوله بیشتر خمیده باقی می ماند.
  - تغییرات خمیدگی به صورت دقیق به حرکت عقربه تبدیل می شود.
- مزایای آلۀ بوردن:

1. ساخت ساده و مقاوم
2. قابل استفاده برای فشارهای زیاد
3. دقیق و پایدار
4. نیازی به برق ندارد (مکانیکی است)
5. به آسانی قابل حمل و استفاده است

## 11:- انتقال فشار در سیالها

### انتقال فشار در سیالها

#### تعریف سیال:

به موادی که بتوانند به آسانی جریان پیدا کنند، سیال (Fluid) گفته می شود. سیالها شامل مایعات و گازها می باشند.

#### تعریف فشار:

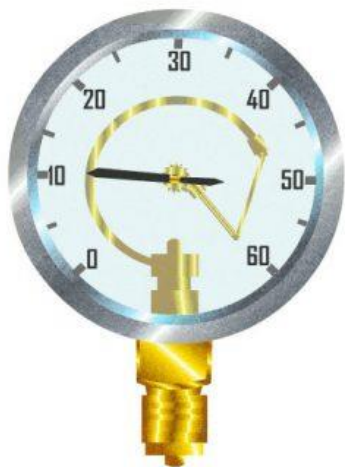
فشار عبارت است از نیروی وارد شده بر واحد سطح.

به عبارت دیگر، اگر نیروی عمود بر سطحی وارد شود، فشار به شکل زیر تعریف می شود:



$$P = \frac{F}{A}$$

که در آن:



• P: فشار (پاسکال)

• F: نیرو (نیوتن)

• A: مساحت سطح (متر مربع)

و یا توسط فرمول ذیل نیز میتوان

$$P = P_0 + \rho gh$$

♦ فرمول مربوط به اصل پاسکال:

اگر دو پیستون در یک سیستم هیدرولیکی وجود داشته باشند:

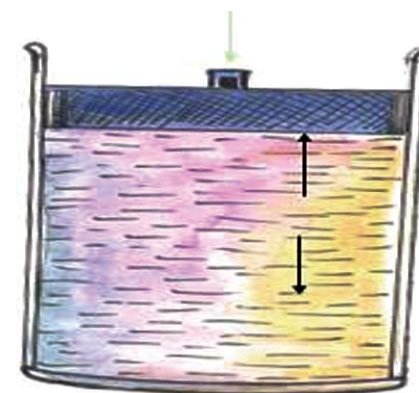
$$\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1}$$

که در آن:

• F1 و F2 نیروهای وارد شده بر پیستونها

• A1 و A2 مساحت‌های سطح پیستونها هستند.

از این رابطه دیده می‌شود که اگر A2 بزرگ‌تر از A1 باشد، نیروی خروجی F2 بزرگ‌تر از F1 خواهد بود، هرچند فشار در هر دو پیستون مساوی است



### مثال

در یک شکنجه آبی اگر پیستون کوچک دارای قطر 5cm و پیستون بزرگ دارای قطر 40cm باشد، کدام وزنه را بالای پیستون کوچک باید گذاشت تا موتوری را که دارای وزن  $2 \times 10^4 N$  می‌باشد، بالای پیستون بزرگ در توازن نگهدارد؟

**حل:** داریم که:

$$d = 5cm \Rightarrow r = \frac{d}{2} = 2.5cm = 0.025m$$

$$D = 40cm \Rightarrow R = 20cm = 0.2m$$

$$F = 2 \times 10^4 N$$

$$f = ?$$

$$a = \pi r^2 = \pi \times (0.025)^2 = 0.000625\pi$$

$$A = \pi R^2 = \pi \times (0.2)^2 = 0.04\pi$$

$$F = 2 \times 10^4 N$$

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} \Rightarrow f = F \times \frac{a}{A}$$

$$f = 2 \times 10^4 \times \frac{0.000625\pi \times 0.025}{0.04\pi \times 0.2} \Rightarrow f = 312.5 N$$

### 6- قانون ارشمیدس

قانون ارشمیدس (Archimedes' Principle)

♦ مقدمه:

وقتی جسمی در داخل مایع یا گاز غوطه‌ور شود، از طرف مایع یا گاز نیرویی به سمت بالا بر آن وارد می‌شود که باعث می‌شود جسم سبک‌تر احساس شود یا حتی در سطح مایع شناور گردد. این نیروی بالا برنده را نیروی شناوری (Buoyant Force) می‌نامند.

♦ بیان قانون ارشمیدس:

هر جسمی که در داخل مایع یا گاز غوطه‌ور شود، از طرف آن سیال نیرویی به سمت بالا تجربه می‌کند که مقدار آن برابر است با وزن مایع (یا گاز) جابه‌جا شده توسط جسم.

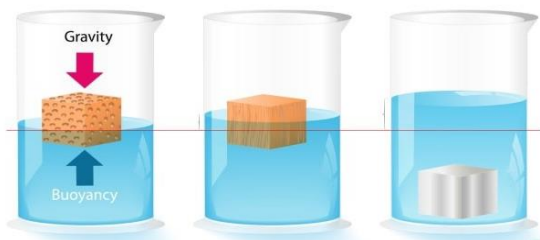
فرمول قانون ارشمیدس:

$$F_b = \rho g V$$

که در آن:

• Fb: نیروی شناوری (نیوتن)

## ARCHIMEDES PRINCIPLE



قانون ارشمیدس نشان می‌دهد که مایعات و گازها می‌توانند بر اجسام نیرو وارد کنند و باعث شناور ماندن آنها شوند.

این قانون اساس بسیاری از وسایل مانند کشتی‌ها، زیر دریایی‌ها، بالونها و هیدرومترها است.

دوره چهارم:

### اهداف آموزشی:

1. چه وقت جسم شنا میکند و یا غرق می‌شود
2. بریک‌های دایره پی‌هایدرولیک
3. سیال‌های متحرک
4. سیال‌های خیالی (ایده آل) تجربه
5. معادله متماذیت
6. معادله برنولی
7. فشار در قاعده بند آب

● 1. چه وقت جسم شنا میکند و یا غرق می‌شود

چه وقت جسم شنا می‌کند و یا غرق می‌شود؟

وقتی یک جسم داخل مایع (مانند آب، تیل، جیوه و ...) قرار داده می‌شود، دو قوه بر آن عمل می‌کند:

1. قوه وزن: (W)

قوه‌ای که جسم را به طرف پایین می‌کشد.

• چگالی مایع ( $\text{kg/m}^3$ ):

• گشتاب جاذبه ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ):

• حجم مایع جابه‌جا شده ( $\text{m}^3$ ):

### توضیح فیزیکی:

وقتی جسمی در مایع قرار می‌گیرد:

• از طرف پایین مایع، فشار بیشتر است.

• از طرف بالای مایع، فشار کمتر است.

به همین دلیل، تفاوت فشارها باعث به‌وجود آمدن نیروی به سمت بالا بر جسم می‌شود. اگر نیروی شناوری از وزن جسم زیادتر باشد، جسم شناور می‌ماند؛ و اگر کمتر باشد، جسم فرو می‌رود.

### سه حالت ممکن:

1. جسم فرو می‌رود:

اگر وزن جسم > نیروی شناوری باشد.

2. جسم شناور می‌ماند:

اگر وزن جسم = نیروی شناوری باشد.

3. جسم بالا می‌آید یا روی سطح قرار می‌گیرد:

اگر وزن جسم < نیروی شناوری باشد.

### مثال‌های روزمره از قانون ارشمیدس:

1. کشتی‌های بزرگ روی آب شناور می‌مانند، چون وزن آنها با وزن آب جابه‌جا شده برابر است.

2. شخص در آب سبک‌تر احساس می‌کند، چون نیروی شناوری به سمت بالا بر او اثر دارد.

3. بالون‌های هوایی در هوا بالا می‌روند، زیرا هوای داخل آنها سبک‌تر از هوای محیط است.

### نتیجه:

## 2. قوه شناوری یا معلقیت: (FB)

قوه‌ای که از طرف مایع بر جسم وارد شده و آن را به طرف بالا فشار می‌دهد. این قوه نتیجه قانون ارشمیدس است.

### قانون ارشمیدس

طبق قانون ارشمیدس:

قوه شناوری برابر است با وزن مایع جابجا شده توسط جسم.

به عبارت ساده:

هر قدر جسم بیشتر در مایع فرو برود، مایع بیشتری را جابجا می‌کند و قوه شناوری بیشتر می‌شود.

جسم چه وقت شنا می‌کند؟

جسم زمانی شنا می‌کند که:

۱. قوه شناوری (FB) بزرگتر از وزن باشد:

$$FB > W$$

در این حالت، قوه بالا بردن مایع از قوه پایین کشیدن وزن بیشتر است، و جسم روی سطح مایع باقی می‌ماند.

نمونه‌ها:

- چوب روی آب شنا می‌کند.
- یخ در آب شنا می‌کند (چگالی یخ کمتر است)
- تیل روی آب شناور می‌ماند.

جسم چه وقت غرق می‌شود؟

جسم زمانی غرق می‌شود که:

۱. قوه شناوری (FB) کمتر از وزن باشد:

$$FB < W$$

در این حالت توانایی مایع برای بالا بردن جسم کافی نیست و جسم به پایین حرکت می‌کند.

یا چگالی جسم بیشتر از چگالی مایع باشد:

نمونه‌ها:

- سنگ در آب غرق می‌شود.
- آهن و فلزات در آب پایین می‌روند.
- یک فلز در جیوه ممکن است شنا کند، چون چگالی جیوه بسیار زیاد است.

جسم چه وقت در مایع معلق می‌ماند؟

گاهی جسم نه بالا می‌رود و نه پایین می‌آید، بلکه در داخل مایع معلق می‌ماند.

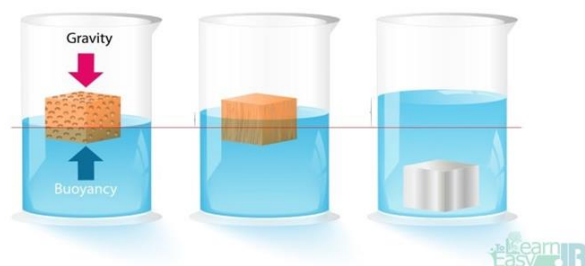
این حالت زمانی رخ می‌دهد که:

$$FB = W$$

نمونه:

- تخم‌مرغ در آب نمک‌دار می‌تواند معلق بماند (زیرا چگالی آب افزایش می‌یابد)

### ARCHIMEDES PRINCIPLE



2.- بر يك های دایره پی هایدرولیک

بر يك‌های دایره‌ای هایدرولیک

بر یک‌های دایره‌ای هیدرولیک (Hydraulic Circular Brakes) نوعی سیستم توقف وسایط نقلیه است که با استفاده از **قانون پاسکال** و **فشار مایعات** عمل می‌کند. این سیستم در موتورها، موتورسایکل‌ها و ماشین‌آلات صنعتی کاربرد فراوان دارد و به دلیل کارایی و قدرت بالا یکی از مهم‌ترین نوع بریک‌ها به شمار می‌رود.

### اصل کار بر یک‌های هیدرولیک

کارکرد بر یک‌های هیدرولیک بر اساس **قانون پاسکال** است. این قانون بیان می‌کند:

اگر بر مایعی که در یک ظرف بسته قرار دارد فشار وارد شود، این فشار به تمام جهات و نقاط مایع به طور مساوی منتقل می‌شود.

در بریک‌های هیدرولیک، وقتی راننده پدال بریک را فشار می‌دهد:

1. یک قوه کوچک بر پدال وارد می‌شود.

2. این قوه به **سیلندر اصلی** منتقل می‌شود.

3. سیلندر اصلی فشار را به مایع هیدرولیک (تیل بریک) وارد می‌کند.

4. این فشار به کمک **لوله‌ها** به **سیلندره‌ای فرعی** در چرخ‌ها منتقل می‌شود.

5. پیستون‌های سیلندره‌ای فرعی حرکت کرده و کفشک‌ها (یا پدها) را به دیسک یا درام بریک فشار می‌دهند.

6. در نتیجه وسایط توقف می‌کند.

### اجزای اصلی بریک‌های دایره‌ای هیدرولیک

1. **پدال بریک**

محل وارد کردن قوه توسط راننده.

2. **سیلندر اصلی (Master Cylinder)**

فشار ابتدایی را تولید کرده و به مایع منتقل می‌کند.

3. **مایع هیدرولیک (Brake Fluid)**

فشار را در تمام سیستم انتقال می‌دهد.

4. **لوله‌ها و نالی‌ها**

فشار را از سیلندر اصلی به چرخ‌ها می‌رسانند.

### 5. سیلندره‌ای فرعی (Wheel Cylinders)

فشار را دریافت کرده و کفشک‌ها یا پدها را حرکت می‌دهند.

### 6. دیسک یا درام بریک

محل تماس کفشک‌ها برای توقف چرخ.

### ویژگی‌ها و فواید بریک‌های هیدرولیک

#### ۱. انتقال مساوی فشار

به دلیل قانون پاسکال، فشار در تمام نقاط یکسان منتقل می‌شود و هر چهار چرخ به طور هماهنگ توقف می‌کنند.

#### ۲. نیاز به قوه کمتر

قوه کوچک پدال می‌تواند فشار بسیار بزرگی ایجاد کند، بنابراین راننده با زور کم وسایط را متوقف می‌کند.

#### ۳. کارکرد آرام و مؤثر

این سیستم لرزش و صدا را کم کرده و توقف نرم ارائه می‌دهد.

#### ۴. حساسیت و پاسخ‌دهی بالا

با کم‌ترین فشار روی پدال، بریک عمل می‌کند.

#### ۵. امنیت بیشتر

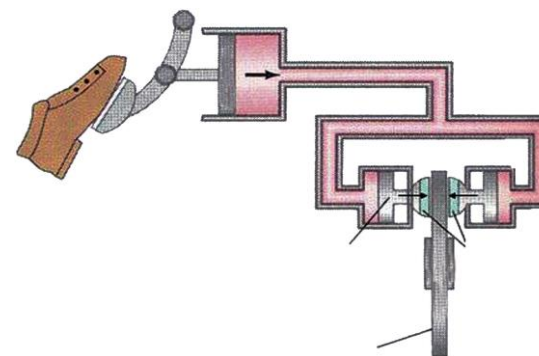
به دلیل انتقال دقیق فشار و توقف سریع، سیستم هیدرولیک از سایر سیستم‌ها مؤثرتر است.

### کاربردها

- در تمام موتورها و مدرن
- موتورسایکل‌ها
- ماشین‌های ساختمانی
- وسایل صنعتی و باربری

## خلاصه درس

بر یک‌های دایره‌ای هیدرولیک، با استفاده از فشار مایعات و قانون پاسکال، اجازه می‌دهد تا راننده با قوه کم، فشار بزرگ و یکنواختی را به چرخ‌ها منتقل کند. این سیستم دارای اجزای مختلف مانند سیلندر اصلی، مایع هیدرولیک، سیلندرهای فرعی و دیسک یا درام است و از مؤثرترین سیستم‌های توقف وسایط می‌باشد



### ● 3: سیال های متحرك

#### سیال‌های متحرک (Moving Fluids)

سیال‌ها شامل مایعات و گازها هستند. هنگامی که سیال در حال حرکت باشد، رفتار و خواص آن نسبت به حالت سکون تغییر می‌کند. مطالعه سیال‌های متحرک در فیزیک به ما کمک می‌کند تا جریان آب، حرکت هوا، فشار خون، و کارکرد وسایل هیدرولیک و نیوماتیک را بهتر درک کنیم.

#### ویژگی‌های مهم سیال‌های متحرک

سیال‌ها هنگام حرکت چند خاصیت اساسی از خود نشان می‌دهند:

##### ۱. سرعت جریان

سرعت جریان نشان می‌دهد که سیال در هر ثانیه چه مقدار فاصله طی می‌کند. در لوله‌های تنگ، سرعت جریان بیشتر می‌شود و در بخش‌های پهن کمتر می‌گردد.

## ۲. فشار سیال

یکی از مهم‌ترین قوانین در سیالات متحرک:

هرچه سرعت سیال بیشتر شود، فشار آن کمتر می‌شود. این اصل را قانون برنولی می‌نامند.

نمونه:

هوای سریع بالای بال طیاره فشار کم ایجاد می‌کند، در حالی که هوای آهسته زیر بال فشار زیاد دارد و این اختلاف فشار باعث بلند شدن طیاره می‌شود.

## ۳. پیوستگی جریان (معادله پیوستگی)

اگر سیال در یک لوله وارد شده و از طرف دیگر خارج شود، مقدار سیالی که وارد می‌گردد برابر مقدار خروجی است.

به این اصل، قانون پیوستگی می‌گویند:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

•  $A$ : مساحت مقطع لوله

•  $V$ : سرعت سیال

معنی قانون:

در جای تنگ سرعت زیاد، و در جای پهن سرعت کم می‌شود.

## قانون برنولی (Bernoulli's Principle)

قانون برنولی بیان می‌کند:

در جریان سیال، مجموع فشار، انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل در هر نقطه ثابت می‌ماند.

به زبان ساده:

• سرعت  $\uparrow \Rightarrow$  فشار  $\downarrow$

- سرعت  $\Rightarrow \downarrow$  فشار  $\uparrow$

این قانون در موارد زیادی کاربرد دارد:

- پرواز طیاره
- کارکرد کاربراتور موتور
- فشار کم بالای سقف وقتی باد شدید می‌وزد
- اسپری‌ها، عطریاش‌ها و اتومایزرها

### عامل‌های مؤثر بر حرکت سیال

1. چسپندگی (ویسکوزیته)  
مقاومت داخلی سیال در برابر جریان.  
مثال: روغن نسبت به آب چسپندگی بیشتری دارد.
2. چگالی سیال  
سیال‌های متراکم‌تر حرکت آهسته‌تری دارند.
3. شکل و قطر لوله  
در لوله باریک سرعت زیادتر می‌شود.
4. فشار وارد شده  
هرچه فشار زیاد باشد، سرعت جریان بیشتر می‌گردد.

### مثال‌های روزمره سیال‌های متحرک

- سریع‌تر ریختن آب از یک بوتل با تکان دادن آن
- پرواز طیاره به کمک اختلاف فشار
- جریان خون در رگ‌ها
- سیستم‌های آب‌رسانی
- وزش باد در اثر تفاوت فشار هوا

### ♦ ۴. سیال‌های خیالی (ایده آل) تجربه

#### سیال‌های خیالی (ایده آل)

سیال خیالی یا سیال ایده‌آل نوعی سیال است که در طبیعت وجود واقعی ندارد، اما در فیزیک برای ساده‌سازی محاسبات و درک بهتر حرکت سیالات معرفی می‌شود. سیال ایده‌آل دارای ویژگی‌هایی است که به ما کمک می‌کند تا قوانین حرکت، فشار و انرژی سیالات را با دقت و سهولت بیشتر مطالعه کنیم.

#### ویژگی‌های سیال ایده‌آل

در فیزیک، سیالی را ایده‌آل می‌گویند که دارای خصوصیات زیر باشد:

#### ۱. چسپندگی ندارد (ویسکوزیته = 0)

سیال ایده‌آل هیچ مقاومت داخلی در برابر حرکت ندارد.  
در نتیجه، هنگام جریان هیچ انرژی از دست نمی‌دهد.

#### ۲. غیر قابل تراکم است (چگالی ثابت)

حجم آن با تغییر فشار کم یا زیاد نمی‌شود.  
در همه جا چگالی سیال ثابت فرض می‌شود.

#### ۳. جریان آرام و منظم دارد

سیال ایده‌آل همیشه جریان لایه‌ای (Laminar) دارد و آشفتگی (Turbulence) در آن ایجاد نمی‌شود.

#### ۴. هیچ اصطکاک با دیواره‌های لوله ندارد

در نتیجه سرعت سیال در همه نقاط برابر است، برخلاف سیالات واقعی که سرعت در مرکز بیشتر و در دیواره کمتر است.

چرا در فیزیک از سیال ایده‌آل استفاده می‌شود؟

از آنجا که سیالات واقعی مانند آب، هوا و تیل رفتار پیچیده دارند، استفاده از سیال‌های ایده‌آل کمک می‌کند:

- قوانین به‌طور ساده بررسی شوند.
  - محاسبات فشار، سرعت و انرژی آسان شود.
  - اصول اساسی مانند قانون برنولی و پیوستگی بهتر توضیح داده شوند.
- در واقع، سیال ایده‌آل یک مدل مفهومی است که فهم حرکت سیال‌های واقعی را آسان‌تر می‌سازد.

### مثال‌ها در فیزیک

در بسیاری از موضوعات کتاب فیزیک یازدهم، سیال‌ها به صورت ایده‌آل فرض می‌شوند، مانند:

- معادله پیوستگی
  - قانون برنولی
  - محاسبات سرعت و فشار در لوله‌های مختلف
  - توضیح پرواز طیاره
  - جریان آب در لوله‌ها
- این فرض باعث می‌شود اثر چسپندگی و اتلاف انرژی نادیده گرفته شود.

### تجربه سیالات ایده‌آل (تطبيق تجربی در صنف)

در آزمایشگاه فیزیک، معمولاً از آب به‌عنوان نمونه نزدیک به سیال ایده‌آل استفاده می‌شود، زیرا:

- چسپندگی کمی دارد
- تراکم‌پذیری کم است
- جریان آن نسبتاً منظم است

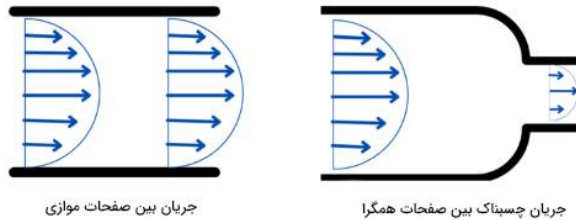
در تجربه‌ها:

- تغییر سرعت آب در لوله‌های باریک و پهن بررسی می‌شود.

- قانون برنولی با اندازه‌گیری فشار در نقاط مختلف آزمایش می‌شود.

- تغییرات ارتفاع آب در لوله‌های متصل نشان‌دهنده رفتار ساده‌شده شبیه سیال ایده‌آل است.

البته آب کاملاً ایده‌آل نیست، اما در بسیاری از تجربه‌ها رفتار آن بسیار نزدیک به سیال ایده‌آل فرض می‌شود.



### 5- معادله متماذیت

#### معادله متماذیت (Continuity Equation)

معادله متماذیت یکی از مهم‌ترین قوانین در بخش سیالات متحرک در فیزیک صنف یازدهم است. این معادله بیان می‌کند که وقتی یک سیال در لوله جریان دارد، مقدار سیالی که وارد لوله می‌شود برابر مقداری است که از آن خارج می‌شود. به عبارت دیگر:

سیال در جریان، از بین نمی‌رود و مقدار آن ثابت می‌ماند.

این اصل را قانون بقای جرم نیز می‌گویند.

#### اصل اصلی متماذیت

اگر سیال از یک لوله با شکل‌های مختلف (نازک و پهن) عبور کند::

$$2A_2V = 1A_1V$$

که در آن:

- $A_1$  = مساحت مقطع لوله در نقطهٔ اول
- $V_1$  = سرعت سیال در نقطهٔ اول
- $A_2$  = مساحت مقطع لوله در نقطهٔ دوم
- $V_2$  = سرعت سیال در نقطهٔ دوم

### معنی سادهٔ معادله

وقتی لوله باریک شود → سرعت سیال زیاد می‌شود.

وقتی لوله پهن شود → سرعت سیال کم می‌شود.

این رابطه کمک می‌کند تا بدانیم چگونه سیال رفتار می‌کند.

### چرا معادلهٔ متعادلیت درست است؟

به دلیل دو اصل:

#### ۱. بقای جرم

جرم سیال در جریان از بین نمی‌رود.

#### ۲. چگالی ثابت

در سیال ایده‌آل (که تقریباً در مایعات صادق است) چگالی تغییر نمی‌کند، پس مقدار سیال ثابت می‌ماند.

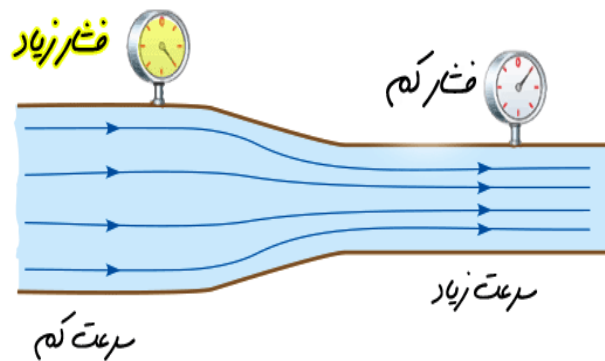
### مثال سادهٔ روزمره

- وقتی دهانهٔ نل آب را تنگ می‌کنید، آب تیزتر و سریع‌تر خارج می‌شود. علت: مساحت (A) کم شد، پس سرعت (V) زیاد گردید.
- در لوله‌های آب منازل، بخش‌های باریک‌تر سرعت آب را افزایش می‌دهد.

### کاربردهای معادلهٔ متعادلیت

معادلهٔ متعادلیت در زندگی و تکنالوژی نقش بسیار مهم دارد، مانند:

- طراحی لوله‌کشی شهرها
- سیستم خون‌رسانی در بدن
- نازل‌های اسپری، آتش‌فشان‌ها و فواره‌ها
- تربولانس و جریان هوا در بال طیاره
- محاسبه سرعت جریان در تانکرها و پمپ‌ها



### 6- معادله برنولی

#### معادلهٔ برنولی (Bernoulli's Equation)

معادلهٔ برنولی یکی از مهم‌ترین قوانین در بخش سیال‌های متحرک در فیزیک صنف یازدهم است. این معادله نشان می‌دهد که در یک سیال در حال جریان، رابطهٔ خاصی میان فشار، سرعت و ارتفاع وجود دارد. این قانون توسط دانشمند سوئسی دانیل برنولی بیان شده است.

#### ☆ اصل برنولی

برنولی می‌گوید:

در یک سیال ایده‌آل که با سرعت ثابت در حرکت است، مجموع فشار، انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل در تمام نقاط جریان ثابت می‌ماند.

به عبارت ساده:

وقتی سیال سریع حرکت کند، فشار آن کم می‌شود و برعکس.

$$\text{constant} = \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 + P$$

که در آن:

- $P$  = فشار سیال
- $\rho$  = چگالی
- $v$  = سرعت جریان سیال
- $h$  = ارتفاع نسبت به یک سطح مرجع
- $g$  = شتاب ثقل

## توضیح سه بخش معادله

## ۱. فشار (P)

نشان‌دهنده نیروی است که سیال به اطراف وارد می‌کند.  
هرچه سرعت سیال کم باشد، فشار بیشتر است.

## ۲. انرژی جنبشی

$$\frac{1}{2} \rho v^2$$

هرچه سرعت بیشتر باشد، انرژی جنبشی سیال زیادتر است.

## ۳. انرژی پتانسیل یا ارتفاعی

$$\rho gh$$

هرچه ارتفاع بالاتر باشد، انرژی پتانسیل بیشتر است.

## نتیجه مهم برنولی

وقتی سرعت زیاد شود → فشار کم می‌شود.

وقتی سرعت کم شود → فشار زیاد می‌شود.

## مثال‌های روزمره معادله برنولی

## ۱. پرواز طیاره

بال طیاره طوری ساخته شده که:

- بالای آن خمیده → هوا سریع‌تر حرکت می‌کند → فشار کمتر
  - زیر بال صاف → هوا آهسته‌تر → فشار بیشتر
- این اختلاف فشار سبب بلند شدن طیاره می‌شود.

## ۲. نل آب

وقتی دهانه نل را تنگ کنید، سرعت آب زیاد می‌شود ولی فشار کاهش می‌یابد.

## ۳. دودکش‌های منازل

باد سریع روی سر دودکش فشار را کم می‌کند و دود داخل اتاق به طرف بالا کشیده می‌شود.

## ۴. اسپری‌ها و عطریاش‌ها

سرعت زیاد هوا در داخل نل، فشار را کم می‌کند و مایع از بوتل بالا کشیده می‌شود.

## شرایط کاربرد معادله برنولی

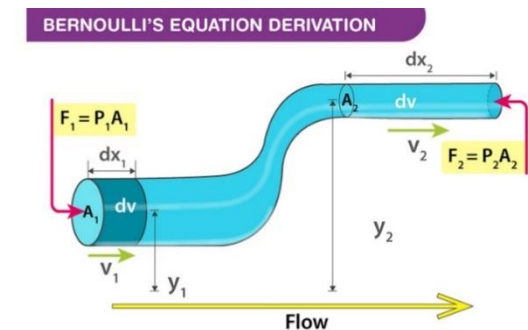
معادله فقط زمانی درست است که:

1. سیال ایده‌آل باشد (چسپندگی نداشته باشد)
2. جریان آرام و منظم باشد. (Laminar)
3. هیچ انرژی از دست نرود.
4. چگالی سیال ثابت باشد.

## چرا معادله برنولی مهم است؟

این معادله پایه اصلی بسیاری از پدیده‌های فیزیکی و وسایل تکنالوژی است و کمک می‌کند:

- سرعت سیال محاسبه شود
- فشار در لوله‌ها پیدا شود
- طراحی دستگاه‌ها ساده گردد
- پدیده‌های طبیعی بهتر فهمیده شوند



**مثال:** مقطع بزرگ و کوچک یک نل کاملاً افقی به ترتیب  $10\text{ cm}^2$  و  $5\text{ cm}^2$  می باشد، هرگاه سرعت آب در مقطع بزرگ  $30\text{ cm/s}$  باشد، سرعت آب در مقطع کوچک مساوی و تفاوت فشار بین دو مقطع نل را محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} & 1350\text{ Pa} \quad (1) \quad 1000\text{ Pa} \quad (2) \quad 1000\text{ Barry} \quad (3) \quad 1350\text{ Barry} \quad (4) \\ & A_1 = 10\text{ cm}^2, \quad A_2 = 5\text{ cm}^2, \quad V_1 = 30\text{ cm/s}, \quad \rho_w = 1\text{ g/cm}^3, \quad V_2, \Delta P = ? \\ & A_1 V_1 = A_2 V_2 \rightarrow V_2 = \frac{A_1 V_1}{A_2} = \frac{(10\text{ cm}^2)(30\text{ cm/s})}{5\text{ cm}^2} = 60\text{ cm/s} \\ & P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \rightarrow P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) \\ & \Delta P = \frac{1}{2}(1\text{ g/cm}^3)[(60)^2 - (30)^2] = \frac{1}{2}(3600 - 900) = 1350\text{ Barry} \end{aligned}$$

## 7. فشار در قاعده بند آب

فشار در قاعده بند آب

بند (سد) یکی از مهم‌ترین ساختمان‌های مهندسی است که برای ذخیره آب، تولید برق و جلوگیری از سیلاب‌ها ساخته می‌شود. یکی از موضوعات بسیار مهم در طراحی و ساخت بند، فشار آب در قاعده بند است. این فشار نقش مهمی در استحکام، ضخامت و شکل ظاهری بند دارد.

### مفهوم فشار آب

فشار در سیالات یکی از مفاهیم اساسی فیزیک است. هرچه عمق آب بیشتر باشد، مقدار فشار نیز افزایش می‌یابد. دلیل آن این است که در عمق‌های پایین، مقدار آب بالای آن نقطه بیشتر است و وزن این آب باعث ایجاد فشار بیشتر می‌شود.

فرمول فشار در مایعات چنین است:

$$\rho gh = P$$

که در آن:

- $P$  = فشار
- $\rho$  = چگالی آب
- $g$  = شتاب جاذبه
- $h$  = عمق آب

طبق این فرمول، روشن است که فشار با افزایش عمق مستقیماً افزایش می‌یابد.

### فشار در قاعده بند

در یک بند، بیشترین فشار بر قسمت قاعده (پایه) وارد می‌شود؛ زیرا این قسمت در عمیق‌ترین نقطه قرار دارد. هرچه آب در پشت بند بیشتر و عمیق‌تر باشد، فشار وارد شده به پایین بند نیز زیادتر می‌شود.

بنابراین، مهندسان هنگام ساخت بند، قسمت پایین آن را ضخیم‌تر و قسمت بالایی را باریک‌تر می‌سازند تا بتواند این فشار بزرگ را تحمل کند.

### دلایل مهم بودن دانستن فشار در قاعده بند

1. جلوگیری از تخریب بند: اگر فشار درست محاسبه نشود، بند ممکن است شکسته یا تخریب شود.

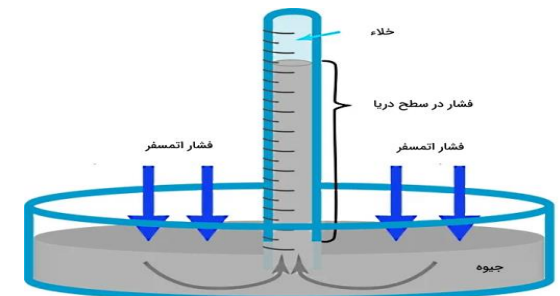
2. طراحی محکم و مطمئن: ضخامت و مواد ساختمانی باید مطابق فشار واقعی انتخاب گردد.

3. ایمنی مناطق پایین دست: شکست بند می تواند خسارات بسیار بزرگ انسانی و مالی به بار آورد.

4. استفاده بهتر از آب: محاسبات دقیق امکان استفاده مؤثر از آب را فراهم می سازد.

### نتیجه گیری

فشار در قاعده بند یکی از مهم ترین موضوعات فیزیک در بخش سیالات است. فشار در اعماق زیاد به دلیل وزن آب افزایش می یابد، و همین موضوع باعث می شود که قسمت پایین بند باید محکم تر و ضخیم تر ساخته شود. درک این اصل فیزیکی برای مهندسان و دانش آموزان بسیار ضروری است



مثال: هرگاه سرعت اولیه آب در قاعده ی یک بند آب  $20 \frac{m}{sec}$  باشد. فشار تولید شده را محاسبه کنید.

$$\rho_{water} = 1000 \frac{kg}{m^3}, \quad v_1 = 20 \frac{m}{s}, \quad v_2 = 0$$

$$P_z = \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} (1000) (20)^2 = (500) (400) = 200000 \text{ pa} = 200 \text{ kpa}$$